

Zeitschrift: Schweizerische Polytechnische Zeitschrift
Band: 2 (1857)
Heft: 5

Rubrik: Bau- und Ingenieurwesen

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 29.03.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Bau- und Ingenieurwesen.

Mittheilungen über die Durchbohrung des Mont-Cénis.

Von F. Reuleaux, Prof. der Maschinenbankunde am eidg. Polytechnikum.

Tafel 17.

Die Durchbrechung der Alpenkette mittelst einer Eisenbahn ist schon seit Jahren ein Gegenstand des Interesses nicht allein für die Bewohner der durch die Alpen getrennten Länder und Landestheile, sondern für die von ganz Mitteleuropa, das Ziel der Wünsche derjenigen, die darin einen mächtigen Hebel für Handel und Verkehr erblickten, der Anlass zu zahlreichen Vorschlägen und Projekten, welche diese grossartige Arbeit möglich und ausführbar machen sollten. Fortwährend aber verschob sich der wirkliche Beginn auch nur eines Versuches eines Alpentunnels von Jahr zu Jahr, bis endlich vor Kurzem die Zeitungen die Nachricht brachten, dass am 31. August d. J. die Arbeit einer Durchtunnelung des Mont-Cénis feierlichst, und man darf wohl sagen, unter den nachträglichen Segenswünschen ganzer Nationen, in Angriff genommen worden sei. Die Schwierigkeiten dieses Unternehmens sind aber so gewaltig und zum grossen Theil so neu, dass der Eisenbahnbau und insbesondere der Tunnelbau hierfür von seinen bisherigen Verfahrensarten ganz abgehen, sich grösstentheils ganz neuer technischer Hilfsmittel und Vorkehrungen bedienen muss, und es waren ja fast einzig die lange vergebens erstrebte Auffindung dieser neuen Methoden, die Aussinnung und Erfindung dieser neuen Hilfsmittel, welche den Beginn des Unternehmens stets wieder verzögerten. Es möchte desshalb von nicht unbedeutendem Interesse sein, hier eingehende Mittheilungen über diese Gegenstände zu machen.

Im Wesentlichen ist das Nachfolgende der Inhalt eines Vortrages, welchen ich vor einiger Zeit in der naturforschenden Gesellschaft in Zürich hielt. Ich verdanke die Grundlagen dazu einestheils mündlichen Mittheilungen des Herrn Ingenieurs und Professors Sella in Turin, welcher Mitglied einer Experten-Commission für die Prüfung der Tunnelmaschinen war, andernteils dem mir durch die Güte desselben Herrn zugekommenen ausgezeichneten Berichte *) jener Commission, welche Mittheilungen endlich zufolge der fortgesetzten Freundlichkeit des Herrn S. durch Uebersendung eines Abdruckes der bezüglichen Parlamentsakten **) der kön. sardinischen Kammern vervollständigt

*) Relazioni tecniche intorno al perforamento delle Alpi. Rapporto della Commissione Governativa istituita per l'esame delle macchine inventati dagli ingegneri Grandis, Grattoni e Sommeiller. (Als Manuscr. gedr.)

**) Riforma del capitolato di concessione della *Ferrovia Vittorio Emanuele e Traforo delle Alpi*. Atti parlamentari e rendiconto delle discussioni seguite alla Camera dei Deputati nelle sedute del 25, 26, 27 e 29 giugno 1857, ed al Senato del Regno nella seduta del 13 luglio 1857. Torino, Tipogr. Eredi Bossa.

wurden. Es folgt nun hier, gestützt auf dieses Material, und namentlich im Anschluss an das erwähnte Gutachten, eine kurze Schilderung der das Unternehmen einleitenden Vorarbeiten und eine Besprechung der für dasselbe zur Verwendung kommenden Maschinen, wobei ich nur bedauern muss, wegen des beschränkten Raumes die lichtvolle und vortreffliche Darstellung des Gutachtens nicht unverkürzt vorführen zu dürfen.

Als man den Beschluss gefasst hatte, eine Eisenbahn von Genua nach Turin zu bauen, tauchte in vielen Gemüthern wieder die von den Bewohnern Piemonts und Savoyens lange gehegte Idee einer Bahnverbindung beider Landestheile auf, und man trug sich sehr bald eifrig mit dem Gedanken, die Bahn bis zur Grenze von Frankreich fortzuführen. Hierbei schlug man namentlich vor, den Schienenweg durch das eine oder andere Alpenthal bis zu einer solchen Höhe der Grajischea Alpenkette zu führen, dass man mittelst eines nicht zu ausgedehnten unterirdischen Baues den Gebirgsgrat durchbrechen könne. Es handelte sich daher bald darum, eine passende Uebergangsstelle zu finden. Die Bedingungen der Auswahl einer solchen waren bei der Natur dieser hochgelegenen, von Eis und Schnee einen grossen Theil des Jahres unwegsam gemachten Hochgebirgsthälern, durch welche man in sanften Steigungen und Krümmungen einen Schienenweg bergan führen sollte, sehr schwierig; jedoch wurde die Wahl durch den Umstand, dass die beiden zu verbindenden Thalsohlen das Gebirgsjoch in ungefähr gleicher Höhe treffen mussten, auf einige wenige Punkte beschränkt. Das hervorragende Verdienst, zuerst mit scharfem Blick den zweckmässigsten Punkt erkannt und bezeichnet zu haben, gebührt einem Privatmann aus Bardonnèche, Hr. Médail, dessen Name sich dadurch mit dem Tunnelbau innig verknüpft hat. Médail, der die wirkliche Annahme seines Vorschlages nicht erlebt hat, veröffentlichte vor etwa 20 Jahren eine Schrift, in welcher er nachwies, dass wenn man jemals die Gebirgswand zwischen Piemont und Savoyen mit einem Tunnel durchbrechen wolle, die einzig annehmbare Stelle die Höhe von Fréjus zwischen Bardonnèche und Modane sein werde, wo man einen Tunnel von 12 Kilometer Länge werde anlegen müssen. In der That haben die spätern sorgfältigen Untersuchungen, welche der (belgische) Ingenieur Mauss und der Ritter Angelo Sismonda im Auftrag der Regierung vollführten, nachgewiesen, dass der von Médail angegebene Uebergangspunkt nicht nur einige, sondern alle wünschbaren Bedingungen aufs Beste erfülle, dass er sowohl wegen des sanften Anstiegs der Thäler und der Bequemlichkeit der gewohnten Handelswege, als wegen der möglichen Kürze des Tunnels, der geringen Höhenunterschiede von dessen Mündungen und der Natur der zu durchbrechenden Gesteine

vor allen übrigen in Vorschlag gekommenen Pässen entschieden den Vorzug verdiene. Man entschied sich deshalb auch bleibend und bis heute für diesen Punkt.

Ingenieur Mauss begann nunmehr regelmässige Studien über die den Tunnel in sich fassende Linie von Susa nach Chambéry, über welche er der Regierung in den Jahren 1845, 1846 und 1848 Vorlagen machte, und welche zugleich die Grundlage zu einem von ihm im Februar 1849 vorgelegten vollständigen Bauprojekte bildeten. Nach diesem Projekte sollte sich der südliche Tunnelleingang und zugleich der höchste Punkt der ganzen Linie in der Thalweitung von Rochemolle, in einer Höhe von 1363 Meter über dem Meeresspiegel und nahe 1600 Meter unter dem Gipfel der Höhe von Fréjus befinden; der nördliche Eingang war in der Nähe von Modane, 1150 Meter über dem Meere angenommen, wobei der Tunnel eine Länge von 12230 Meter und eine Steigung von 1,88 Procent erhielt; seine Richtung wich nur wenig (22°) von der südnördlichen ab. Beiderseits näherte sich die Bahn dem Tunnel mit starker Steigung, nämlich nördlich mit 3, südlich mit 3½ Procent.

Die aussergewöhnlichen Schwierigkeiten dieses Baues mussten sogleich in die Augen fallen. Voran steht die Unmöglichkeit, den Bau von verschiedenen Punkten aus gleichzeitig zu beginnen, indem die Höhe des überdeckenden Bergrückens die Anbringung von Treibschächten ganz unthunlich machte; hiermit ging zugleich das Hauptmittel verloren, den nöthigen Luftwechsel an den Arbeitsstellen herbeizuführen, der bekanntlich bei horizontalen Tiefbauten ohnedies so schwer herzustellen ist. Dazu trat die Nothwendigkeit, einen starken Wasserzudrang künstlich beseitigen zu müssen, indem zwar an der Südseite die Wasser von selbst abfliessen können, an der nördlichen aber nicht, da der Tunnel in der letzteren Richtung ansteigt.

Das M'sche Projekt suchte aber diesen Uebelständen zu begegnen oder sie wenigstens zu mildern. Mit der Beharrlichkeit, welche das Genie auszuzeichnen pflegt, hatte M. drei Jahre auf die hierzu nöthigen Arbeiten verwandt. Die Frucht derselben war eine von ihm erfundene Tunnelbohrmaschine, welche s. Z. in und ausserhalb technischen Kreisen vielfach besprochen worden ist. Dieselbe sollte mit rasch arbeitenden, durch Maschinenkraft getriebenen Bohrern das auszubrechende Gestein in horizontale Schichten trennen, die alsdann durch eingetriebene Keile abgelöst werden sollten. Zwei solche Maschinen waren bestimmt, einander von den Tunnel-Enden aus entgegenzuarbeiten. Getrieben wurden sie durch Wasserräder, welche, ausserhalb des Tunnels gelegen, ihre Triebkraft den Bohrmaschinen vermittelt Drahtseilen zuführten. Letztere liefen über Leitrollen, welche von Strecke zu Strecke angebracht waren, ganz wie es M. an der bekannten Lütticher Schiefebene mit Glück angewandt hatte. Für die Ventilation war eine Anzahl gewöhnlicher Flügelradgebläse angebracht, die von den Achsen der Leitrollen aus in Bewegung gesetzt werden sollten.

Dieses ganze Projekt wurde im Jahr 1849 einer technischen Commission zur Prüfung überwiesen und erhielt

auch deren Zustimmung. Man liess bei Thémaz ein Modell der Bohrvorrichtung anfertigen, machte Proben mit demselben in Valdocco, welche günstig ausfielen, und beschloss die Ausführung der Maschine im Grossen beginnen zu lassen, damit, sobald ruhigere Zeiten als die damaligen eingetreten sein würden, energisch zu der eigentlichen Arbeit der Tunnelbohrung geschritten werden könne. — Mag man nun auch die Zweifel, welche von Vielen über die genügende Wirksamkeit der kraftübertragenden Drahtseile aufgeworfen wurden, weniger beachten, da man erwarten durfte, dass die praktische Erfahrung einzelne Uebelstände werde überwinden helfen, und zudem ja auch die Anwendung sehr langer Drahtseile zu ähnlichen Zwecken an mehreren Orten praktisch betrieben wird, so kann man sich doch nicht verhehlen, dass für die Luftzuführung in M's Projekt zu wenig geschehen war. Es wurden zwar hierfür Flügelgebläse angeordnet, allein weder über deren Kraftverbrauch noch über ihre Leistung irgend genauere Angaben in Rechnung gebracht, während doch diese Dinge bei dem Mangel der als natürliche Wetterzüge wirkenden Treibschächte besonders sorgfältig berücksichtigt werden mussten. Gewiss waren es auch diese Schwierigkeiten der Weiterführung, welche M. veranlasst hatten, statt des Sprengens mit Pulver, wobei unathembare Gase in bedeutender Menge hätten beseitigt werden müssen, das Losschlagen der Steinbänke mittelst Keilen vorzuschlagen. Unbedingt aber lässt sich die Arbeit bei Anwendung des Pulvers bedeutend schneller fördern, als bei jener Methode, so dass also durch die mangelhafte Luftzuführung auch die hier so hochwichtige Schnelligkeit des Vordringens stark beeinträchtigt wurde.

Betrachtungen dieser Art mögen es gewesen sein, welche in jener Zeit den rühmlichst bekannten Genfer Gelehrten, Prof. Daniel Colladon, veranlassten, sich mit dem Gegenstand eingänglich zu beschäftigen, indem er nicht lange nachher der k. Regierung ein Gesuch um ein ausschliessliches Privilegium auf eine von ihm aufgestellte Methode der Tunnelbohrung einreichte. Es wurde ihm auch am 30. Juni 1855 ein fünfzehnjähriges Patent auf sein Verfahren ertheilt, welches der Hauptsache nach darin bestand, dass mittelst Luftpumpen stark gepresste Luft in den Tunnel getrieben, und diese theils zum Ventiliren, anderntheils aber auch als Kraftübertragungsmittel dienen sollte, so dass man durch sie Steinbohrmaschinen und beliebige andere Hilfsvorrichtungen treiben könne*).

*) Colladon sagt unter Anderm in seiner Denkschrift: „Les principaux moyens mécaniques qui ont été mis en œuvre ou proposés pour faire mouvoir les outils au fond d'une galerie de mine, sont l'emploi de cordes ou câbles agissant par un mouvement alternatif ou continu, l'emploi de la vapeur agissant directement, celui du vide au moyen d'un tube aspirateur, celui d'une colonne d'eau. Le procédé nouveau que je propose en diffère, non pas seulement par son principe essentiel, mais aussi et surtout par une combinaison avantageuse pour obtenir immédiatement, par son emploi, les résultats essentiels suivants, qui font partie des conditions qu'on peut désirer dans des travaux souterrains. Ventiler et régler la température, emmagasiner la puissance motrice quand les outils s'arrêtent, et abréger le travail des outils par des dispositions nouvelles.“

Der wesentliche Grundgedanke von Colladon's Erfindung, sagt unser Bericht, bestand in der Anwendung gepresster Luft zur Uebertragung einer Triebkraft, welche von einer zu Tage arbeitenden Maschine zu den in der Tiefe des Tunnels befindlichen Bohrvorrichtungen getrieben werden sollte; es war dies in gewisser Beziehung eine Umkehrung des von Papin ersonnenen und 1688 veröffentlichten: *Moyen de transporter fort loin la force des rivières* *). Papin schlug nämlich vor, die Triebkraft von Wassergefällen zu benutzen, um lange Röhrenleitungen luftleer zu machen, und auf diese Weise eine Luftverdünnung in einem weit entfernt befindlichen Cylinder zu erzeugen, dessen Kolben, durch die äussere Luft eingetrieben, zu beliebigen Kraftäusserungen könne benutzt werden (also, schaltet der unten genannte Figuer ein, ganz das Prinzip der atmosphärischen Eisenbahnen). Colladon dagegen verwendet die Triebkraft von Wasserrädern oder Dampfmaschinen dazu, Luft zusammenzupressen und diese dann durch lange Röhren an einen Ort zu leiten, wo sie auf Kolben wirken, und ausserdem noch die Zwecke der Luftreinigung erfüllen soll.

An diese Haupttheile seines Verfahrens knüpfte der Erfinder noch Einzelheiten an über die Construction der Luftleitungsröhren, über die Art, die Temperatur der gepressten Luft zu reguliren, die Bohrlöcher mittelst eines eingetriebenen Strahles von Wasser oder Luft vollkommen zu reinigen, die Brennkraft von Gasflammen durch die Luftzuführung zu erhöhen, Ströme brennenden Gases in die Bohrlöcher zu leiten, um dadurch die Festigkeit des Gesteines zu lockern, u. s. w.

An demselben 30. Juni 1855 ertheilte die Regierung ein zweites Patent (auf 14 Jahre) an Herrn Thomas Bartlett, Ingenieur an der Eisenbahn Viktor-Emmanuel, für eine Steinbohrmaschine, eine Erfindung, von welcher im Folgenden noch vielfach die Rede sein wird, und deren Grundidee mit Hülfe der Skizze Fig. 1, Tafel 7 veranschaulicht werden soll.

Den einen Haupttheil der Bartlett'schen Maschine bildet eine kleine locomobile Dampfmaschine mit liegendem Cylinder, welcher in unserer Figur mit A bezeichnet herausgehoben ist, und die man sich mit Kurbel, Schwungrad, Steuerung etc. wie gewöhnlich versehen denke; der andere Haupttheil ist ein Luftcylinder B, dessen Achse in der Verlängerung derjenigen von A liegt, und welcher zwei Kolben b und c enthält. Ersterer ist mit dem Dampfkolben a durch eine bei beiden Cylindern durch Stopfbüchsen gehende Kolbenstange verbunden; der Kolben c sitzt auf dem Ende einer langen und starken Kolbenstange Cc, welche an dem andern Ende einen Steinbohrer d trägt. Zwischen b und c befindet sich eine gewisse Menge Luft, welche das Aufeinanderwirken der beiden Kolben als Feder oder Kissen vermittelt. Bewegt sich nun der Dampfkolben in der Pfeilrichtung, so presst er diese Luft zunächst zusammen und treibt dann, ohne dass b mit c im Stoss zusammenstreffen könnte, den Luftkolben c und damit den Bohrer d

fort, der, gegen das Gestein geleitet, dieses in heftigem Stosse trifft.

Sobald der Kolben sich dem Ende seines Laufes nähert, lässt er einen Kanal frei werden, welcher zu einem Auslassventil e führt; durch dieses entweicht alsdann ein Theil der in B enthaltenen Luft. Das Ventil e schliesst sich aber sogleich wieder, wenn a und b ihren Rücklauf beginnen. Hierbei entsteht zuerst wieder zwischen den beiden Kolben des Luftcylinders eine kleine Verdünnung, welche der äusseren Luft einen Kraftüberschuss verleiht, mit welchem sie alsbald den Kolben c wieder zurücktreibt. Damit nun nicht dieser gegen b stosse, wenn der letztere Kolben seinen Hub beendet hat, lässt dieser kurz vor Ende seines Rückschubes einen von dem Ventil f herkommenden Kanal offen werden. Die in B noch vorhandene Verdünnung bewirkt aber dann sogleich, dass f sich hebt und eine kleine Menge Luft in B treten lässt, wodurch dann einestheils die vorhin durch e abgelassene Luft ersetzt, andernteils der Rücklauf von c durch einen elastischen Gegendruck aufgehalten wird.

Man sieht, dass das Hin- und Hertreiben des Bohrers mit einer ausserordentlichen Sanftheit des Wechsels der Bewegungen vor sich gehen muss und die Maschine selbst dadurch gar nicht erschüttern kann, wenn die Anordnung gut getroffen ist. Der Bohrer wird nun nach jedem Schlag ein wenig gedreht und bearbeitet dann das Gestein mit grosser Kraft. Es versteht sich von selbst, dass die constructive Ausführung des Ganzen durch unsere Skizze nicht einmal angedeutet ist, sondern dass dieselbe dem Zwecke entsprechend sorgfältig ausgebildet sein muss. Die verschiedenen oben besprochenen Zustände werden aber dabei mit einer solchen Schnelligkeit und Leichtigkeit durchlaufen, dass der Bohrer 2 bis 300 Schläge per Minute zu machen im Stande ist.

Ganz ohne Zweifel kann die besprochene Maschine vom grössten Nutzen für solche Bohrarbeiten sein, welche zu Tage oder in unterirdischen Bauten von geringer Tiefe ausgeführt werden, weil man an solchen Stellen den Dampf leicht durch Röhren von aussen zuleiten und ihn ebenso wieder von der Arbeitsstelle ableiten kann. Wo es sich aber um das Arbeiten in langen Tunnels handelt, lässt sich Letzteres nicht mehr bewerkstelligen; man muss vielmehr den Dampfkessel in der Nähe der Maschine im Tunnel selbst aufstellen und hätte dann mittelst der Ventilation sowohl den verlorenen Dampf, als die Verbrennungsprodukte des Dampfkessels zu beseitigen, wozu es einer ganz maasslosen Luftzuführung bedürfte *).

So hatte also Mauss eine Maschine zum Losbrechen des Gesteines erdacht, liess aber in Betreff ihrer Ingangsetzung und vor Allem in Beziehung auf die Luftzuführung Vieles zu wünschen übrig; beiden Mängeln half Colladon

*) Siehe z. B. *Figuer, histoire des principales découvertes scientifiques modernes*, III. Band, S. 82.

* *) Diese Befürchtungen haben sich vollständig bestätigt bei Versuchen, welche man mit einer Bartlett'schen Bohrmaschine im Hasenstein-Tunnel anstellte. Die Wirkung des Bohrers war eine ausgezeichnete und überaus befriedigende; allein die grosse Masse von Dampf und Rauch, welche Maschine und Kessel in den Tunnel brachten, die Hitze, welche beide gleichzeitig verbreiteten, waren so länderlich und stark, dass selbst bei einer sehr kräftigen Luftzuführung das Arbeiten nach kurzer Zeit unmöglich wurde.

ab durch die Anwendung der gepressten Luft, gab jedoch keine Anleitung, wie dieselbe auf den Betrieb einer Steinbohrmaschine anzuwenden sei, noch auch verschaffte er ein besseres Mittel, als die unzureichenden gebräuchlichen, sich die nöthige Menge von gepresster Luft zu verschaffen. Endlich lieferte Bartlett zwar eine Maschine, mit welcher man vortrefflich die Steinbohrung vornehmen könnte, indem sie ausserordentlich rasch arbeitet, gab derselben aber einen Motor, welcher in Tunnelbauten unmöglich angewendet werden konnte.

Wendete man nun den Gedanken Colladon's auf die Erfindung von Bartlett an, d. h. ersetzte man den Dampf in der Bohrmaschine durch gepresste Luft, so würde freilich diese Maschine sogleich brauchbar — allein es bliebe immer noch die Lösung der jetzt mehr und mehr in den Vordergrund tretenden Hauptfrage übrig, nämlich die Beschaffung einer einfachen und wirksamen Maschine, welche die gepresste Luft liefern sollte. In der That ist die Luftmenge, welche bei dem Bau des Mont-Cenis-Tunnels erforderlich ist, sehr beträchtlich. Für die Tunneltiefe von mehr als 6000 Meter stellt sie sich bei regelmässiger Arbeit auf etwa 1 Cub. Meter per Sekunde, die Spannung auf die der Atmosphäre zurückgeführt; sogleich nach dem Sprengen muss dieses Quantum sogar noch bedeutend grösser sein. Aus letzterem Grunde ergibt sich die Nothwendigkeit, Luftbehälter oder Windkessel anzubringen, in welchen ein Vorrath von gespannter Luft angesammelt werden kann. Was sodann die derselben zu ertheilende Pressung betrifft, so muss diese aus mehreren Gründen gross sein. Erstens bedarf es zum Betrieb der Steinbohrmaschinen einer ziemlich grossen Spannung, wenn man den Treibcylinder nicht unvortheilhaft gross machen will, und wenn die Maschine überhaupt günstig arbeiten soll. Zweitens sind die Widerstände, welche sich der Bewegung der Luft in so langen Leitungen, wie sie hier vorliegen, entgegensetzen, sehr gross, indem sie direkt mit der Leitungslänge und sehr rasch mit der Geschwindigkeit der Luft in den Röhren zunehmen. Es geht deshalb auf dem langen Wege ein beträchtlicher Theil der anfänglichen Luftspannung verloren, und zwar noch besonders darum, weil man der Kosten wegen nicht gar zu weite Röhren anwenden darf. Aus allem diesem geht hervor, dass es sich hier um eine Maschine für die Herbeischaffung einer ganz bedeutenden Menge sehr stark gespannter Luft handelt.

Die Lösung dieser Aufgabe möchte wohl noch nicht versucht worden sein, bevor die Ingenieure Grandis, Grattoni und Sommeiller sich mit der Sache befassten, wenigstens dürften sie wohl die ersten sein, welche eine befriedigende Lösung lieferten. Von vorneherein musste man Bedenken tragen, Kolbenmaschinen, welche man vielleicht durch Wasserräder treiben konnte, zur Anwendung zu bringen, da die Effektverluste solcher Maschinen für hohe Luftspannungen so bedeutend sind, dass man keine Hoffnungen auf ihre Benutzung bauen durfte. Die genannten Ingenieure sahen daher auch von diesen ab, sie setzten sich vielmehr vor, die Luft mittelst einer Wassersäule zusammenzudrücken, um dadurch alle Zwi-

schentheile und die damit verbundenen Verluste zu vermeiden.

Dieser Gedanke an und für sich war keineswegs neu, indem man schon Wassersäulengebläse mancherlei Art anwendet, allein diese benutzen nur den hydrostatischen Druck der Wassersäule, so dass man mit der Luftpressung bei denselben durchaus an die Höhe der gegebenen Gefälle gebunden ist. Unsere Ingenieure dagegen treten mit der Idee auf, die lebendige Kraft einer bewegten Wassersäule zu benutzen, und diese schöne Idee möchte wohl als eine neue, wenigstens auf dem Felde der Praxis, zu bezeichnen sein. Hiedurch brachte sie die Luftpressung in ein weit günstigeres Verhältniss zu der Höhe des gegebenen Gefalles, und sicherten dadurch ihrer Maschine, wenn dieselbe gelang, eine ausgedehnte und vielseitige Anwendung.

Die Skizze Fig. 2 Tafel 17 veranschaulicht die neue Maschine in ihren Grundzügen. Eine Röhrenleitung AB , welche von einem Oberwasser-Kanal oder Behälter A herabgeht, verbindet sich unten mittelst eines waagrecht liegenden Röhrenstückes BC mit einem senkrechten Cylinder CD , welcher der Presscylinder ist. CE ist das Abflussrohr. Bei B und C sind Ventile eingeschaltet, welche nicht durch den Wasserstrom in den Röhren geöffnet werden können, sondern von aussen gestellt werden. Sie sind deshalb hier als Drosselklappen gezeichnet, während sie in der Ausführung Doppelsitzventile mit sehr nahe vollständiger Entlastung sind. Das Ventil bei B heisse das Einlassventil, das bei C das Auslassventil. Denkt man sich nun zunächst den Presscylinder CD oben geschlossen und das Einlassventil geöffnet, so wird, wenn AB bereits mit Wasser gefüllt vorausgesetzt wird, das Wasser sich in Bewegung setzen, durch BC zum Cylinder CD strömen, in diesem in die Höhe steigen und die in demselben vorhandene Luft zusammenpressen. Gesetzt, das Einlassventil sei nur sehr wenig geöffnet, so dass das Wasser nur ganz langsam eindringen kann, so wird die Zusammendrückung der Luft so lange fortschreiten, bis die innere Spannung dem hydrostatischen Druck der Wassersäule AB und dem darauf lastenden Atmosphärendruck entspricht, und die Maschine in ihrer Thätigkeit sich von der des Heronsballes nicht unterscheiden.

Anders aber gestaltet sich die Sache, wenn man das Einlassventil ganz öffnet, so dass das Wasser unbehindert nach CD strömen kann. In diesem Falle wird die Wassersäule auch vorerst die Luft in CD bis auf das vorhin angegebene Mass zusammendrücken, dann aber nicht sogleich zur Ruhe kommen, wie vorhin; sondern sie wird vermöge der lebendigen Kraft ihrer in Bewegung befindlichen Masse noch weiter zu gehen streben, und zwar wird sie den Rauminhalt der Luft in CD noch so lange verkleinern, bis die hierzu nöthige Arbeit die lebendige Kraft der strömenden Wassersäule aufgezehrt hat. Es wird also der Wasserspiegel in CD mit verzögerter Bewegung noch weiter aufsteigen und endlich zum Stillstand kommen. In diesem Augenblicke schliessen wir das Einlassventil und haben nun in dem obern Theil von CD eine gewisse Luftmenge, welche stark zusammengepresst ist.

Um nun diese gepresste Luft benutzen zu können, versehen wir jetzt den Cylinder *CD* oben mit einem Abblase-Ventil *d*, von welchem aus wir ein Rohr *DF* zu einem Windkessel *G* leiten. Dieser sei im Anfang des Ganges der Maschine mit Wasser gefüllt, welches dem unveränderlichen Druck einer zweiten Wassersäule *HJ* ausgesetzt ist, die um ein Gewisses höher sei als *BA*. Wiederholt man jetzt den vorigen Versuch, so wird er ein wenig anders verlaufen. So bald nämlich die Luftspannung in *CD* gleich oder etwas grösser geworden ist, als der Wasserdruck im Windkessel, wird das Abblaseventil gehoben und die zusammengepresste Luft in den Windkessel getrieben werden. Hier verdrängt sie dabei einen Theil des Wassers, welches bei *J* ausfliessen kann. Bei diesem Vorgang also hat die Wassersäule nicht bis zu ihrem Stillstand Luft zusammengedrückt, sondern vor Schluss ihrer Bewegung die nicht ganz bis zur frühern Höhe gepresste Luft ausgetrieben. Sobald sie zum Stillstand gekommen, fällt das Ventil *d*, und wir schliessen nun wieder das Einlassventil, öffnen aber darauf das Auslassventil. Bei *D* sei nun auch noch ein sich von aussen nach innen öffnendes Luftventil *K* angebracht. Dieses wird sich nun sogleich öffnen, worauf das Wasser bei *E* abzufließen beginnt. Es wird durch atmosphärische Luft, welche durch *K* eindringt, ersetzt. Ist der Cylinder bis etwa zur Höhe von *C* entleert, so wird das Auslassventil geschlossen und das Ganze befindet sich wieder in einem Zustand, der eine Erneuerung des vorigen Spieles zulässt. Es würde unnütz sein, das Wasser aus dem waagerechten Schenkel *BC* ebenfalls abzulassen, da die Luft, welche hier hineintreten würde, beim Einlassen von Wasser durch *B* leicht in das Rohr *BA* eindringen und entweichen könnte.

Die wiederholten Spiele der Maschine werden nun nach und nach den Windkessel mit gepresster Luft erfüllen, welche alsdann beliebige Verwendungen finden kann. In der Ausführung sind die Bewegungen des Ein- und des Auslassventils einem besondern Steuerungsmechanismus, einer Art kleiner Wassersäulenmaschine übergeben, welche einmal richtig eingestellt, das Öffnen und Schliessen der Ventile mit vollkommener Regelmässigkeit besorgt.

Man sieht, dass das Ganze dem hydraulischen Widder in vielen Beziehungen ähnlich ist; jedoch unterscheiden sich beide wesentlich darin, dass der hydraulische Widder die lebendige Kraft der Wassersäule zum Wasserheben benutzt, und die Luft im Windkessel nur behufs der Vermeidung von Stössen zusammenpresst, während hier die Luftpressung und -Beförderung der Zweck ist. Zugleich ist der Gang des hydraulischen Widders von fortwährenden Erschütterungen durch die Stösse der Ventile begleitet, während die obige Luftpresse mit einer ganz erstaunlichen Sanftheit der Bewegungen arbeitet, so dass man die Hubwechsel kaum vor sich ziehen hört.

Die beschriebene hydraulische Luftpresse*, wurde von den Ingenieuren Grandis, Grattoni und Sommeiller

eigentlich nicht für die Arbeiten am Mont-Cenis-Tunnel erfunden, sondern war von ihnen dazu bestimmt, bei der Schiefebene von Giovi angewandt zu werden, wo diese Ingenieure ein ihnen eigenthümliches System, nämlich dasjenige einer Luftpressungs-Eisenbahn auszuführen beabsichtigen.*) Hier soll ähnlich, wie bei den atmosphärischen Eisenbahnen, eine Art von Kolbenrohr die Schiefebene entlang gelegt werden, dessen Triebkolben durch gepresste Luft getrieben zu werden bestimmt ist. Während der Arbeiten hiefür entstand in ihnen die Idee, eine erste Anwendung ihrer Maschine bei der Durchbrechung des Mont-Cenis in Anregung zu bringen, wozu sich noch die Ansicht gesellte, dass die Bartlett'sche Bohrmaschine durch ihre Luftpresse ausserordentlich an Anwendbarkeit gewinnen, und für den Tunnelbau geradezu tauglich gemacht werden könne. Wie nun das Bauwerk am Mont-Cenis mehr und mehr in den Vordergrund trat, begannen sie eine vollständige Zusammenstellung von Vorrichtungen, die zum Bau des Tunnels geeignet sein würden, zu machen, und einen Arbeitsplan dafür auszuarbeiten. Es wurde zu demselben Ende von ihnen eine Luftpresse in der Nähe von San Pier d'Arena aufgestellt und mit einer dort befindlichen Wasserleitung in Verbindung gebracht, indem sie die zu erzeugende gepresste Luft dazu bestimmten, Versuche mit den neuen Steinbohrmaschinen zu machen.

Die Regierung hatte gleichzeitig, in der neuen Erfindung ein Mittel erkennend, vermöge dessen der Bau des Mont-Cenis-Tunnels wohl erfolgreich angegriffen werden könne, den drei Ingenieuren im Verein mit dem Ingenieur Ranco, damals kgl. Kommissär bei der Victor-Emanuel-Bahn, und jetzigem Ober-Ingenieur derselben, eine neue Untersuchung der zu bauenden Linie aufgetragen, mit dem Auftrag, zu erforschen, ob vielleicht an den Mauss'schen Projekten etwas zu verbessern sei. Das Ergebniss dieser

*) Dass die Erfinder bis zur endlichen Erreichung ihres Zweckes, eine Luftpressungs-Maschine zu Stande zu bringen, viele Zeit und Mühe aufwenden mussten, dass sie, wie viele Mechaniker dieser Zeit mit dem schwierigen Problem viel zu kämpfen hatten, ist zu erwarten und wird durch die bezüglichen Verhandlungen auch klar. Auch an Prioritätsstreitigkeiten fehlte es nicht, welche übrigens jetzt ganz zu Gunsten der Erfinder entschieden sind. In einer Schrift, welche Sommeiller gegen die Anklagen eines Hrn. Piatti, welcher die Priorität beansprucht hatte, veröffentlichte, befindet sich eine in der Kammer verlesene Anekdote, welche hier einen Platz finden möge, da sie gewissermassen eine Anerkennung des wirklichen Gelingens der schon so viel versuchten Lösung enthält. Sommeiller schreibt: „Im Jahr 1856, als ich eben in Belgien die Konstruktion derjenigen Maschine beendigt hatte, welche jetzt in Genua arbeitet, ging ich nach Paris, um einen dort wohnenden berühmten Ingenieur zu besuchen, welcher sich vielfach mit Arbeiten über die Verdünnung und Verdichtung der Luft beschäftigt hatte. Ein uns gemeinschaftlicher Freund führte mich ein, und theilte ihm den Grund meines Besuches mit, nämlich den Wunsch, verschiedene besondere Aufklärungen über die Leitungsröhren für gepresste Luft zu erhalten. Kaum hatte der gelehrte Ingenieur diese beiden Worte vernommen, als er pfeilgerade in die Höhe fuhr und mich starr anblickte; darauf liess er sich mit melancholischem Ausdruck nieder, und gab mir nun mit der grössten Artigkeit und Zuverlässigkeit die gewünschten Aufschlüsse. Beim Abschied endlich fügte er noch hinzu: „Sie kennen jetzt, mein Herr, meine Ansichten über das Zusammenpressen der Luft; es bleibt mir nur noch übrig, Ihnen für Ihre Arbeiten daran ein besseres Schicksal zu wünschen, als zwei meiner Freunde erlitten haben, von denen der eine an der gepressten Luft seinen Kopf, der andere sein Vermögen eingebüsst hat.“ — Der vortragende Redner (Chiò) fügt hinzu: „Was den Kopf betrifft, meine Herren, so glaube ich, dass unsere drei Ingenieure denselben noch nicht verloren haben; und was ihr Vermögen angeht, so darf man wohl glauben, dass das Vaterland bei ungünstigen Zufällen stets ihren lobenswürdigen Anstrengungen anerkennungsvolle Rechnung tragen werde.“

*) Der Name hydraulische Luftpresse scheint mir am besten geeignet, die Eigenthümlichkeiten der beschriebenen Maschine, sowie die von den Italienern gewählte Bezeichnung: *compressore idraulico* oder *compressore idropneumatico* auszudrücken.

Untersuchung war der Antrag, die Mauss'schen Vorschläge im Wesentlichen beizubehalten, dem Tunnel jedoch, um ihm einen selbständigen Wasserabfluss zu verschaffen, von der Mitte aus nach beiden Seiten Fall zu geben. Um dies möglich zu machen, wurde der Tunnel ziemlich parallel mit seiner früheren Richtung etwa einen Kilometer nach Westen verlegt. Die Länge desselben stellte sich dabei auf 12700^m, sein südliches Gefälle auf 2 pro mille, das auf der Nordseite auf 2,3 Procent, und die Höhe seines Mittelpunktes auf 1335^m über dem Meeresspiegel. Diese Vorschläge sind es denn auch, nach welchen die Ausführung nunmehr vorgenommen wird.

Sodann wurde von der Regierung eine Kommission ernannt, welche sorgfältige Versuche mit der Maschine der Ingenieure Grandis, Grattoni und Sommeiller anstellen und deren Anwendbarkeit auf die Herstellung des grossen Tunnels prüfen solle. Hierzu kam bald darauf noch der Auftrag, das von den drei Ingenieuren aufgestellte Tunnelbauprojekt, in welchem die von denselben umgestaltete Bartlett'sche Maschine angewendet war, nebst diesen neuen Bohrmaschinen ebenfalls zu prüfen und zu beurtheilen. Die Kommission war aus folgenden Mitgliedern zusammengesetzt: Präsident: S. E. der Senator des Ambrois de Névache; Berichterstatter: Senator (Professor) Giulio, ferner: Oberst Ménabréa, und die Ingenieure Ruva und Sella, alles Namen, deren theilweise europäischer Ruf von vornherein die Sicherheit gibt, dass die wichtige Angelegenheit einen in jeder Beziehung befriedigenden Abschluss erhalten werde. — Ich lasse nun die Ergebnisse der wichtigsten der Versuche, welche die Experten anstellten, in Kürze folgen.

Versuche mit der hydraulischen Luftpresse.

Die Versuchsmaschine ist, wie gesagt, bei San Pier d'Arena aufgestellt, und zwar in einem alten Kalksteinbruch, la Coscia (die Keule) genannt, und wird von der Nicolai-Wasserleitung gespeist. Diese liefert zunächst das Wasser in zwei am Bergabhang angebrachte Messkasten, von welchen aus Röhren zur Maschine hinabgehen, und welche in senkrechter Höhe 24^m über dem Auslassventil der Luftpresse stehen. Ein dritter Wasserkasten, 51^m über diesem Ventil liegend, enthält das Wasser, welches die gewünschte Luftpressung in den Windkesseln herbeizuführen bestimmt ist; zugleich liefert seine Röhrenleitung das Wasser für die kleine Wassersäulenmaschine, welche die Steuerungsventile bewegt.

Das Abblaseventil lässt zunächst die zusammengepresste Luft in eine dem Presscylinder aufgesetzte Glocke strömen, von wo aus dieselbe durch ein weites Kupferrohr zu den beiden Windkesseln übergeführt wird. Diese letztern sind wie röhrenförmige Dampfkessel geformt und aus Eisenblech von 12^{mm} Dicke angefertigt; sie stehen mit einander in Verbindung und haben jedes 4,24 Kubikmeter oder 4240 Liter Inhalt. Mit ihren niedrigsten Punkten stehen sie mit der Röhrenleitung des dritten Wasserkastens, mit der Druck-Wassersäule in Verbindung, welche sie vor Beginn der Thätigkeit der Presse mit Wasser füllt. Sobald

die Maschine zu arbeiten beginnt, sendet sie mit jedem Hub eine gewisse Menge Luft den Windkesseln zu, welche daselbst einen Theil des Wassers austreibt; und zwar muss diese Luft, ob sie viel oder wenig Wasser verdrängt, stets dieselbe Spannung haben, nämlich diejenige, welche der Höhe der Druckwassersäule entspricht. Da diese hier 51^m hoch ist, so beträgt die Luftspannung 6 Atmosphären. Drei gewöhnliche Wasserstandzeiger gestatten, den Wasserstand in den Windkesseln stets zu beobachten.

Die Windkessel und ihr Zubehör zeigten sich, einige leicht vermeidliche Mängel der Rohrverbindungen abgerechnet, vollkommen luftdicht. Nicht ganz so verhielten sich die Ventile, welche die Luft in diejenigen Röhren abzuleiten hatten, die die gepresste Luft an ihren Bestimmungsort leiten sollten; so zwar, dass die Windkessel in der Stunde 1½ bis 2 Procent ihres Luftinhaltes durch dieselben verloren. Allein man darf diesen, übrigens ungemein kleinen Verlust um so weniger hoch anschlagen, als die entweichende Luft beim Tunnelbau ja in die Ventilationsröhren tritt, also mit zur Lufterneuerung im Tunnel hilft.

Die Luftleitungsröhren, die in San Pier d'Arena benutzt wurden, waren zweierlei Art: gewöhnliche gezogene Bleiröhren und Kautschuckröhren, beide 60^{mm} weit. Die Bleiröhren bestanden aus einzelnen Strängen von 15^m Länge, die mittelst messingener Flanschen und Schrauben verbunden waren; sie verdienen hier einer geringeren Erwähnung, da sie einestheils unbedingt haltbar sein mussten, und anderseits beim Tunnelbau selbst durch gusseiserne Röhren ersetzt werden sollen. Mehr Beachtung ist den Kautschuckröhren zuzuwenden; dieselben sind wegen ihrer Biegsamkeit namentlich geeignet, die Verbindung der Hauptröhren mit den Maschinen, welche im Tunnel gebraucht werden sollen, herzustellen (sie eignen sich hiezu weit besser, als die von Colladon vorgeschlagenen Röhren mit metallenen Gelenken) und widerstehen den Luftpressungen sehr gut. Zur Verstärkung sind sie mit einem hantelartigen Ueberzug versehen, und haben dabei nur 4^{mm} Wanddicke. Die einzelnen Stränge zeigten eine Länge von etwa 5^m und waren mittelst eingeschobener Flanschenstücke verbunden, welche durch umgeschraubte Ringe fest und luftdicht mit den Röhren vereinigt waren.

Die Luftpresse arbeitet mit ausserordentlicher Regelmässigkeit, Sicherheit und Leichtigkeit, wie man sie fast bei keiner andern Maschine gewohnt ist. Mit nie fehlender Genauigkeit öffnet und schliesst die Wassersäulenmaschine die Steuerungsventile. Das Geräusch, welches das abfliessende Wasser macht, ist das einzige, welches das Ohr des Beobachtenden von Zeitpunkt zu Zeitpunkt vernimmt. Zwischen denselben lässt ein leises Murmeln des aufsteigenden Wassers, ein schwaches Zischen der zum Windkessel übertretenden Luft und darauf der metallische Klang des leicht niederfallenden Abblaseventils, welches wie eine aufschlagende Glocke das Ende des Hubes ankündigt, die Vorgänge im Innern erkennen. *)

*) Unser Berichterstatter findet das im Italienischen für „Hub“, „Kolbenhub“, „Spiel“ angewandte Wort „colpo“ („Schlag“) so wenig bezeichnend oder so missdeutend für die Maschine, dass er dasselbe mit „pulsazione“ (Pulsschlag oder hier besser A the m z u g) vertauscht.

Die Hubdauer und die Menge der gepressten Luft, welche in den Windkessel geliefert wird, lassen sich je nach der Regulirung des Oeffnens und Schliessens der Steuerungsventile zwischen ziemlich weiten Grenzen verändern. In einer Versuchreihe betrug die Dauer des Hubes 22 Sekunden, wobei in jedem Hube 73,49 Liter gepresster Luft in den Windkessel getrieben wurden; in einer andern Versuchreihe wurden bei einer Hubdauer von 27 Sekunden 62,51 Liter gepresster Luft pro Spiel geliefert; in beiden Fällen betrug die Luftspannung 6 Atmosphären. Die Maschine hat daher im ersten Falle $6 \cdot 73,49 = 441$ Liter, im zweiten $6 \cdot 62,51 = 381,5$ Liter atmosphärische Luft zuerst bis zu 6 Atm. Spannung zusammengedrückt und dann in einen Behälter von 6 Atm. innerem Druck eingetrieben. Durch eine einfache Rechnung lässt sich nun nachweisen*), dass, um 6 Liter Luft in den Raum eines einzigen zusammenzudrücken, eine Arbeit $59,37^{km}$ **), und für das Forttreiben desselben in einen mit 6 Atm. gespannten Luftbehälter eine Arbeit von $51,63^{km}$ erforderlich ist, so dass also jeder Liter zusammengepresster Luft eine Arbeit von 111^{km} in Anspruch nimmt. Demzufolge betrug in der ersten Versuchreihe die Arbeit pro Hub $8157,4^{km}$, in der zweiten Reihe $7057,4^{km}$, im Mittel 7600^{km} , was bei einer mittleren Hubdauer von 24,5, $\frac{7600}{24,5} = 310^{km}$ oder $\frac{310}{75} =$ nahe 4 Pferdestärken ergibt.

Bei weitem wichtiger als das Vorstehende wird es aber sein, den Coëfficienten des Nutzeffektes der Maschine zu bestimmen. Die hierfür angestellten Messungen an den verschiedenen Messkasten ergaben bei einer Versuchreihe von 35 Spielen einen Wasserverbrauch von 23478 Liter mit einem Gefälle von $23,95^m$, und dazu für die kleine Wassersäulenmaschine 237,5 Liter mit $51,5^m$ Gefälle, im Ganzen eine Arbeit von 562298^{km} vorstellend (von denen die Steuerung stark 2 Procent beanspruchte). Hierbei betrug die nützliche Arbeit nach den Messungen an den Windkesseln und darauf gestützter Berechnung 29797^{km} , woraus sich dann ein Nutzeffekt von 0,53 ergibt. Aus einer anderen Versuchreihe, welcher die Experten ein mehr entscheidendes Ergebniss zusprechen, fand sich der Nutzeffekt-Coëfficient = 0,504, weshalb man bei 0,50 stehen bleiben kann. Diesen Effekt kann man, den Experten beistimmend, als einen sehr günstigen bezeichnen. Da es ihnen an Beispielen von grösseren Maschinen fehlte, welche stark gepresst Luft zu liefern bestimmt sind, ***) so blieben ihnen nur die (Cylinder) Gebläsesmaschinen der Hüttenwerke zum Vergleich, welche die Luft nur auf $1\frac{1}{10}$ bis $1\frac{1}{3}$ Atm. (also $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{3}$ Atm. Ueberdruck) zusammenpressen, und für welche Daubuisson in seinem Traité

*) Siehe übrigens unten „Theorie der hydraulischen Luftpresse“.

**) km = Kilogramm, $\frac{km}{s}$ = Kilogramm pro Sekunde.

***) Ganz und gar möchte es an solchen Maschinen doch nicht fehlen; so war in den Jahren 1846–47 auf der französischen Grube „la Naville“ in der Konzession Douchy, Dép. du Nord, eine Dampfgebläsemaschine von 14 Pferdestärken aufgestellt, welche in einem nach Art einer Taucherglocke in den Schacht hinabgehenden Behälter Luft eintrieb, der sie eine Spannung von 3,2 Atm. (2,2 Atm. Ueberdruck) ertheilte. Siehe Annales des mines, 4me série, t. IX, p. 349 und t. XI, S. 121.

d'hydraulique, 1834, S. 520, mittheilt, dass der Nutzeffekt betrage:

- 50 %, wenn die Gebläse durch Dampfmaschinen betrieben werden;
- 24 % der Arbeit, welche das Wassergefälle enthält, wenn die Maschinen durch Zellenräder betrieben werden, und
- 14 % derselben, wenn der Betrieb durch Schaufelräder geschieht.

Sonach steht, unter der Voraussetzung, dass die genannten Maschinen bei höheren Luftpressungen keine grössern Effektverluste haben, als bei den oben angeführten geringen Spannungen, die neue Luftpresse in gleicher Linie mit der Dampfgebläsemaschine und übertrifft bei weitem die durch die besten Wasserräder getriebenen. Dieses Ergebniss muss um so mehr befriedigen, als es sich hier um die erste Ausführung einer ganz neuen Maschine handelte.

Die Gründe des Effektverlustes von nahe 50 Procent schienen etwa die folgenden zu sein: Der Gefäll- und Wasserverlust beim Ausfluss des Wassers aus der Maschine; die Reibungswiderstände im Zuleitungsrohr; die Erwärmung der Luft während und in Folge ihrer Zusammendrückung (welche übrigens bei den angestellten Versuchen nicht mehr als 31° über die Temperatur der umgebenden Luft betrug); der Wasserverbrauch der Steuerungsmaschine; vielleicht die Verschluckung eines kleinen Theiles der zusammengepressten Luft. Diese Fehlerquellen hängen mit der Natur der Maschine zusammen, lassen sich also wohl vielleicht vermindern, nicht aber ganz beseitigen. Ein anderer und gewiss vermeidlicher Effektverlust fand aber noch deshalb statt, weil die Wassersäule beim Aufsteigen einen Theil des Raumes unter dem Abblaseventil unerfüllt liess. In Folge davon blieb ein Theil der zusammengepressten Luft unbenutzt im Cylinder zurück, was bei den Versuchen einen Verlust von etwa 8 Procent veranlasste. Dieser Fehler (von welchem unten in der »Theorie der Luftpresse« noch die Rede sein wird) lässt sich jedenfalls künftig beseitigen. Einige kleinere, unschwer zu beseitigende Uebelstände noch in Betracht gezogen, glaubt die Kommission gewiss mit Recht erwarten zu dürfen, dass man den Nutzeffekt der Maschine auf 60 Procent werde steigern können.

Kurz zusammengefasst sind die hauptsächlichsten Zahlen-ergebnisse der besprochenen Versuche die folgenden:

Ermittlung der Menge der zusammengepressten Luft

Zahl der Hube.	Volumen d. zusammengepressten Luft.	Volumen bei jedem Hub.
	Liter.	Liter.
10	759,84	75,98
10	774,09	77,41
15	1148,93	76,59
42	2593,17	61,74
77 Hube	5276,03 Liter	72,93 Liter.

Im Mittel also presst die Maschine bei jedem Hub 438 Liter atmosphärische Luft auf $\frac{1}{6}$ ihrer Raumeinnahme zusammen und treibt sie in den Windkessel.

Der bei den ersten 35 der obigen Spiele gemessene Wasserverbrauch war der folgende:

Zahl der Hube.	Volumen d. verbrauchten Wassers. Liter.	Volumen bei jedem Hub. Liter.
9	6076,5	675,16
12	7794,2	649,51
14	9607,3	686,23

35 Hube 23478,0 Liter 670,30 Liter

Berechnet man mittelst dieser Zahlen unter Hinzuziehung der obigen Luftmengen für dieselben ersten 35 Hube, den Nutzeffektcoefficienten, so ergibt sich derselbe = 0,53. Da jedoch die Luftmengen bei den in der Mitte der Reihe liegenden Versuchen wegen der Schwankungen des Wasserspiegels in den Windkesseln nicht so zuverlässig waren, als der Mittelwerth aus allen, so wurde mit letzterem ebenfalls gerechnet, woraus sich denn die obenerwähnte Zahl 0,504 ergibt.

Die Temperatur der zusammengedrückten Luft wurde an dem Ueberführungsrohr, welches sorgfältig vor Ausstrahlung geschützt war, mittelst eines seiner ganzen Länge nach daran anliegenden Thermometers gemessen, während gleichzeitig die Temperatur der umgebenden Luft an einem frei im Schatten aufgehängten Thermometer beobachtet wurde. Die Ergebnisse waren die folgenden:

	Temperatur des Rohres, welches die gepresste Luft enthielt.	Temperatur der umgebenden Luft.
Nach 30 Huben	36° C.	14° 5
» 60 »	44° »	14° 5
» 90 »	49° »	14° 5
» 100 »	51° 5 »	20° 5

Versuche über die Bewegung der Luft in den Leitungsröhren.

Wenn nun schon die Luftpresse im Stande ist, eine grosse Menge Luft auf eine hohe Spannung zu bringen, so kommt doch bei ihrer Verwendung zum Tunnelbau die Frage noch sehr in Betracht, wie gross die Verluste an Spannung sein mögen, welche die Luft in den langen Röhrenleitungen, welche hier angewendet werden müssen, durch die Reibung an den Rohrwänden einbüsst. Es wurden deshalb hiefür besondere Versuche angestellt, über

deren Verlauf und Erfolg das Nachstehende Aufschluss gibt.

Die Bleiröhren der Leitung hatten eine Länge von 301^m, die Kautschukröhren eine von 98^m, was also eine Gesamtlänge von beinahe 400^m ergibt; bei beiden Röhrenarten betrug, wie schon oben gesagt, der lichte Durchmesser 60^{mm}. Die Bleiröhren hatte man absichtlich in den schraubenförmigen Windungen gelassen, in welchen sie angeliefert worden waren. Die Zahl dieser Windungen betrug 76, und ihr Durchmesser etwa 1,10^m. Die Gummiröhren hatten 18 der oben erwähnten Verbindungen von 53^{mm} lichter Weite und 110^{mm} Länge; sie wurden in einer Schlangenlinie von 23 Einbiegungen auf den Boden gelegt. Wenn die Krümmungen der Rohre und namentlich die Verengungen der Gummiröhren durch die Schlösser einen Einfluss auf die Versuchergebnisse hatten, so konnte dies nur ein verschlechternder sein. Derselbe wurde aber nicht in Rechnung gezogen, was für die praktische Benutzung der unten folgenden Zahlen nur nützlich sein kann, indem man solche widerstandgebende Hindernisse in den Röhren selten wird vermeiden können.

An das freie Ende der Leitung, welches man bis in die Nähe des Ausgangspunktes derselben aus dem Windkessel geführt, wurden 5 verschiedene Mundstücke von 4,7 bis 25^{mm} Durchmesser nacheinander angeschraubt und sodann während des Ausflusses die Spannung der Luft in den Röhren 5^m von jedem Ende der Leitung mittelst aufgesetzter offener Quecksilbermanometer beobachtet. Ausser den Manometerhöhen wurden gleichzeitig noch gemessen die Ausflussdauer und die Menge der ausgeflossenen Luft. Indem man darauf diese letztere durch die Ausflusszeit und den Mündungsquerschnitt theilte, erhielt man die Ausflussgeschwindigkeit für das Mundstück, und indem man durch die Zeit und den Röhrenquerschnitt theilte, die Luftgeschwindigkeit im Anfange der Leitung, wo die Luft die durch das erste Manometer angegebene Spannung besass. Die beobachtete Abnahme der Luftspannungen wurde sodann graphisch aufgetragen und danach eine möglichst annähernde stetige Kurve gesucht, welche das Abnahmegesetz ausdrückte. Die sämmtlichen durch dieses Verfahren gefundenen Zahlen sind in folgende Tabelle zusammengestellt:

Querschnitt der Mündung	Geschwindigkeit im Anfang der Leitung	Geschwindigkeit im Mundstück	Manometerhöhe im Anfang der Leitung	Spannungs-Abnahme		Unterschiede
				Beobachtet	Nach der Interpolationscurve	
Quadr.-Millim.	Meter	Meter	Meter	Meter	Meter	Meter
18,13	1,012	149,0	0,3780	0,0039	0,0039	0,0000
63,43	3,197	144,2	0,3775	0,0502	0,0457	— 0,0045
63,43	3,493	153,0	0,3792	0,0790 ¹⁾	0,0545	— 0,0245
63,43	3,604	160,6	0,3814	0,0609	0,0577	— 0,0032
63,43	4,106	183,0	0,3740	0,0608 ²⁾	0,0738	+ 0,0130
81,56 ³⁾	4,415	150,9	0,3783	0,0683	0,0853	+ 0,0170
179,07	10,157	160,4	0,3689	0,3910	0,3860	— 0,0050
312,59	15,100	136,6	0,3751	0,9030	0,9030	0,0000
492,84	18,460	105,9	0,3692	1,5560	1,5560	0,0000

- 1) Dieser Versuch (der erste unter allen) ist sicherlich von Fehlern beeinflusst; man wollte ihn nicht unterdrücken, mass ihm aber auch keinen grossen Werth bei.
- 2) Die Spannungsabnahme wurde bei diesem Versuch nicht durch die beiden oben genannten einzelnen Manometer gemessen, sondern durch ein gläsernes Heberbarometer, dessen Schenkel man mit den beiden Enden der Röhrenleitung in Verbindung setzte.
- 3) Bei diesem Versuch waren gleichzeitig zwei Mündungen, die von 18,13 und die von 63,43 Quadratmillimeter Querschnitt angeschraubt.

Die Interpolations-Curve schliesst sich, wie man aus der letzten Spalte sieht, sehr nahe den Versuchswerthen an. Nach dem durch sie ausgedrückten Gesetz der Spannungsverluste wurde unter der an sich klaren Voraussetzung, dass bei gleicher Anfangsgeschwindigkeit der Luft die Verluste im direkten Verhältniss zur Röhrenlänge stehen, die folgende Tabelle berechnet:

Spannungsverluste pro 1000 Meter Röhrenlänge, ausgedrückt durch Quecksilberhöhen in Millimetern.

Geschwindigkeit der Luft im Anfang der Leitung	Lichte Weite der Röhrenleitung					
	0 ^m ,10	0 ^m ,15	0 ^m ,20	0 ^m ,25	0 ^m ,30	0 ^m ,35
Meter	Millim.	Millim.	Millim.	Millim.	Millim.	Millim.
1	6	4	3	3	2	2
2	26	18	13	11	9	8
3	62	42	31	25	21	18
4	108	72	54	44	36	31
5	167	112	84	67	56	48
6	233	156	117	94	78	67

Aus dieser Zusammenstellung sieht man, dass bei einer Röhrenlänge von 6500^m, einer Anfangsgeschwindigkeit von 5^m bei einem 10^{cm} weiten Rohr $6,5 \cdot 0,167 = 1^m,085$

Quecksilberhöhe oder etwas mehr als $1\frac{1}{3}$ Atmosphäre an Spannung verloren wird. Nähme man nur 4^m Anfangsgeschwindigkeit, so verkleinerte sich der Verlust auf $6,5 \cdot 0,108 = 0^m,702$ Quecksilberhöhe oder etwa $\frac{9}{10}$ Atmosphäre; er würde sogar auf die Hälfte des letztern Werthes herabsinken, wenn man bei derselben Luftgeschwindigkeit 20^{cm} weite Röhren gebrauchte. Aus allem diesem aber sieht man, dass selbst bei verhältnissmässig noch grösseren Verlusten sowohl die Lufterneuerung als die Kraftübertragung bei der halben Tunnellänge von 6500^m gar keine Schwierigkeiten machen, während dagegen bei den kleinen Luftspannungen unserer gewöhnlichen Gebläse eine so ganz aussergewöhnliche Röhrenlänge die Luftspannung selbst bei sehr weiten Röhren geradezu verschwinden machen würde.

Versuche mit der Bartlett'schen Steinbohrmaschine.

Die Versuche wurden mit zwei Exemplaren der Bartlett'schen Maschine vorgenommen, welche die Freundlichkeit des Erfinders zur Verfügung gestellt und ihre Benutzung so viel als möglich erleichtert hatte. Die Kommission wünschte durch die Versuche folgendes zu ermitteln: die Zeit, welche die Bohrmaschine gebraucht, um Bohrlöcher von gegebener Tiefe in verschiedene Gesteinarten zu schlagen; Vergleich dieser Zeit mit derjenigen, welche gewöhnlich bei Handarbeit zu demselben Endzweck aufgewandt werden muss; endlich Bestimmung des Luftverbrauchs der Maschine, sowie von deren Arbeitsaufwand, Ermittlungen, welche gemacht sein müssen, wenn man über die Brauchbarkeit der Maschine für den Alpentunnel entscheiden will. Die Bohrversuche wurden auf den folgenden fünf Gesteinarten vorgenommen: Syenit aus der Balma di Adorno, schiefriger Kalkstein aus der Coscia bei San Pier d'Arena, Serpentin von Val Traverso; feinkörniger schwach gebundener Sandstein; Gyps von Calliano. Die Hauptergebnisse der Versuche sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Ermittlungen.	Syenit	Kalkstein	Serpentin	Sandstein	Gyps	Mittel-Werthe
Zahl der Schläge in der Minute	267	267	267	267	267	267
Tiefe der Bohrung in jeder Minute Centimeter	3,28	4,90	7,30	19,10	28,80	12,67
Tiefe der Bohrung in 100 Schlägen »	1,23	1,83	2,73	7,15	10,79	4,74
Verbrauch an gepresster Luft in jeder Minute Liter	371	371	371	371	371	371
Verbrauch an gepresster Luft in 100 Schlägen »	139	139	139	139	139	139
Desgl. für jeden Centimeter Bohrungstiefe »	113	76	51	19,4	13	54,5
Mechan. Arbeit der gepressten Luft per Minute Kilogrammt.	41181	41181	41181	41181	41181	41181
Desgl. für 100 Schläge »	15429	15429	15429	15429	15429	15429
Desgl. für jeden Centimeter Bohrungstiefe »	12544	8426	5661	2153	1443	6047

Die Kommission machte auch den Versuch, die Bohrarbeit der Maschine mit der Handarbeit unmittelbar zu vergleichen, indem sie unter ihren Augen durch Bergleute

Bohrlöcher in dieselben Gesteine schlagen liess, welche der Maschine vorgelegt worden waren. Man überzeugte sich aber bald von der gänzlichen Nutzlosigkeit und Un-

zulänglichkeit solcher Versuche. Die Arbeiter leisten nach ihrer Willkür ganz Verschiedenes, je nachdem sie die Konkurrenz der Maschine mehr oder weniger fürchten, oder sie sich andere Gründe zum Fleiss oder Unfleiss erdenken; und so kam es, dass die durch diese Versuche erhaltenen Verhältnisse der Maschinen- zur Handarbeit zwischen 21 und 67 regellos schwankten. Man verzichtete deshalb auf diese unmittelbaren Vergleiche, um zu solchen zu greifen, welche man aus bekannten anderweitigen Gesteinarbeiten ableiten konnte. So ergaben Erkundigungen in der Balma di Adorno, dass bei dem obigen Syenit zwei Arbeiter in zweimännischer Bohrarbeit im Mittel per Stunde 9 Centimeter Bohrung liefern, was per Minute $1\frac{1}{2}$ Millimeter gibt. Die Maschine gab 32,8^{mm}, mithin ist das Verhältniss hier 1 : 21,8.

In dem Tunnel von Villavechia und noch zwei anderen, die in Kalkstein getrieben wurden, war die durchschnittliche Bohrtiefe (immer bei zwei Arbeitern) 2,2 Millimeter per Minute; das Verhältniss zu derjenigen der Maschine somit wie 1 : 22,8. Endlich ergab sich in den beiden Tunnels vor Han und Revin in Frankreich, die ebenfalls in Kalkstein getrieben wurden, ganz dieselbe Zahl. Im Mittel ergäbe sich hiernach etwa das Verhältniss 1 : 20. Doch darf man wohl diese Zahl nicht als die wahre annehmen, da bei den angeführten Handarbeiten die Unterbrechungen durch Ruhestunden, Bohrer-Erneuen u. s. w. mit in Rechnung gezogen sind, während die Maschine bei den Versuchen ununterbrochen thätig war. Dies alles in Betracht ziehend, glaubt die Kommission, dass das wirkliche Verhältniss auf 1 : 10 bis 12 anzunehmen sei, d. h. dass die Bartlett'sche Bohrmaschine durchschnittlich das 10- bis 12fache der Handarbeit leiste.

Die Berechnung des Nutzeffektes der Maschine aus dem Luftverbrauch stellte sich ungünstig, wie übrigens erwartet werden musste, da die Maschine für weit geringere Spannungen gebaut war, als die angewandte Luft besass. Um nun ein nicht zu heftiges Fortschleudern der Kolben hervorzubringen, musste der Luft durch Verengung der Einstömungsöffnungen der Spannungsüberfluss entzogen werden, was natürlich nur auf Kosten des guten Effektes geschehen konnte. So war denn der grosse Luftverbrauch nicht der für andere Verhältnisse berechneten Maschine, sondern den Umständen, unter welchen sie versucht wurde, zuzuschreiben. Es war daher zu erwarten, dass bei Abmessungen, welche der hohen Spannung angemessen sein würden, der Verbrauch weit günstiger ausfallen werde.

Die Ingenieure Grandis, Grattoni und Sommeiller beschliessen, in Anbetracht dieser Erfolge, die Bartlett'sche Maschine für die Tunnelbauten so umzugestalten, wie sie zu der hydraulischen Luftpresse passen würde, und dabei zugleich einige Uebelstände zu beseitigen, welche dieselbe bei den obigen Versuchen gezeigt hatte. Es wurde dies sehr bald ausgeführt, und den Experten nach einiger Zeit die umgestaltete Maschine zu neuen Versuchen übergeben. Die Hauptpunkte des darauf bezüglichen Bericht-Nachtrages sind die folgenden:

Die Kommission findet die neue Maschine in fünf Rücksichten von der Bartlett'schen verschieden: 1) Die neue

Maschine hat nur einen Cylinder und nur einen Kolben, welchem durch die Steuerung abwechselnd von beiden Seiten gepresste Luft derart zugeschickt wird, dass er zwischen den beiden Cylinderdeckeln, ohne anstossen zu können, hin- und hergetrieben wird. 2) Die Luftvertheilung wird durch eine vom Hauptkolben unabhängigen Vorrichtung bewirkt, bestehend in zwei kleinen Hilfs-cylindern mit Zubehör, welche übrigens die Erfinder noch in einen Cylinder vereinigen zu können hoffen. 3) Der Cylinder-Durchmesser ist der hohen Luftspannung entsprechend bedeutend vermindert; auch ist das Schwungrad kleiner genommen. 4) Während das Vorrücken der Maschine bei fortschreitender Vertiefung der Bohrung bei Bartlett von Hand geschehen musste, besorgt hier die Maschine dasselbe automatisch, wodurch es möglich wird, eine Reihe von Apparaten durch einen einzigen Maschinenwärter leiten zu lassen. Hiefür erscheinen übrigens einige kleine Abänderungen noch wünschenswerth. 5) Die neue Maschine kann leichter als die Bartlett'sche nach unten und oben, nach rechts und links geneigt werden, um die Bohrlöcher stets in der für das Sprengen bequemsten Lage anbringen zu können.

Diese Abänderungen haben zugleich zur Folge gehabt, dass die Raumeinnahme der Maschine beträchtlich und ihr Gewicht auch ein wenig abgenommen hat. Der ganze Apparat lässt sich in zwei Haupttheile zerlegen: in den beweglichen Mechanismus, welcher während des Bohrens vorschreitet, und die ruhende feste Unterlage desselben, gewissermassen die Eisenbahn, auf welcher ersterer verschoben wird. Den beweglichen Theil könnte man einschliessen in ein Parallelepiped von 2^m,10 Länge, 23^{cm} Breite und 40^{cm} Höhe; er wiegt 202^k, wird aber nur 150^k wiegen, wenn er von einer Reihe von Theilen befreit ist, welche wegen fortwährender Verbesserungen nacheinander angebracht wurden, ohne bei der schliesslichen Konstruktion nöthig zu sein. Die feste Unterlage wiegt 140^k, kann aber ebenfalls noch etwas leichter hergestellt werden; sie ist 2^m,83 breit, 20^{cm} hoch und nahe 10^{cm} breit, so dass die ganze Maschine Alles in Allem einen Raum von 2^m,83 Länge, 23^{cm} Breite und etwa 50^{cm} Höhe beansprucht. Zu dieser letzteren würden bei der Anwendung im Tunnel noch etwa 25^{cm} hinzukommen für die Befestigungstheile des Wagens, auf welche die gleichzeitig arbeitenden Maschinen gestellt werden sollen. Man sieht aus dieser Aufzählung der Abmessungen, dass sich in einem Richtstollen von quadratischem Querschnitt von 2^m,50 Seite immerhin eine ziemliche Zahl von Bohrapparaten werden anbringen lassen.

Bei den angestellten Versuchen arbeitete die Maschine regelmässig und gut; aus der mitgetheilten Tabelle gebe ich nur die Haupt- und Durchschnittszahlen, nämlich:

Zahl der Schläge pro Minute	271
Gepresste Luft, welche in der Minute verbraucht wurde	216 Liter
Tiefe der Bohrung in der Minute :	
im Syenit	0,0225 Meter
im Kalkstein	0,0790 »
im Sandstein	0,1317 »
im Gyps	0,2360 »

Die Gesteine waren genau dieselben wie früher. — Als Hauptergebniss der Beurtheilung der Experten ist anzuführen, dass die neue Maschine in Betreff der Bohrtiefe etwas weniger geringere Ergebnisse lieferte, als die Bartlett'sche, dagegen eine bedeutende Ersparniss an Betriebsluft erzielte, so zwar, dass sich die wirklichen Leistungen zu der der Bartlett'schen Maschine verhalten wie 7 : 5.

Ermittlung des Luftbedarfes für Tunnelbauten und der zu seiner Beschaffung im vorliegenden Falle verfügbaren Wassermenge.

Ueber die hierauf bezüglichen Untersuchungen will ich ausser den Zahlenergebnissen nur wenige Einzelheiten hier mittheilen, ohne jedoch diese ganz zu übergehen, da dieselben doch von grossem und vielseitigem Interesse sind. — Bekanntlich wird beim Tunnelbau nicht der ganze Querschnitt des Tunnels mit einem Male fortgenommen, sondern man treibt zunächst immer den sogenannten Richtstollen der Hauptarbeit voraus, welcher sowohl dem Bau zur Richtung dient, als im Voraus die zu durchfahrenden Gesteine aufschliesst und kennen lehrt, und endlich hauptsächlich das Sprengen und Fortnehmen der Hauptmasse des Abraumes sehr erleichtert. Es kann also der ganze Bau nicht schneller gefördert werden als der Richtstollen, wohl aber auch ebenso schnell als dieser, da das Erweitern des Baues durch viele Hände und an mehreren Stellen betrieben werden kann, sobald einmal der Richtstollen um ein Gewisses vorgebracht ist. Sonach hängt, abgesehen von einzelnen aufhaltenden Nacharbeiten, von Ausmauern u. dgl., die Raschheit des ganzen Betriebes von der Schnelligkeit ab, mit welcher der Richtstollen getrieben werden kann. Damit aber dieser und seine Erweiterung ohne Aufenthalt gefördert werden können, bedarf es in jedem Falle einer Luftzuführung, welche wirksam genug ist, die grosse Menge von gleichzeitig beschäftigten Arbeitern mit frischer Luft zu versehen, oder welche, genauer gesprochen, im Stande ist, die durch die menschlichen Ausathmungen, das Brennen der Grubenlichter und das Sprengen verdorbene Luft durch frische zu ersetzen. So hängt also schliesslich die Raschheit des Vorschreitens des Tunnelbaues von der verfügbaren Wasserkraft ab, mittelst welcher die Luftpressen getrieben werden sollen.

Was die menschliche Athmung angeht, so lehrt die Erfahrung, dass für jeden Menschen stündlich etwa 8 bis 10 Kubikmeter frischer Luft erforderlich sind, um ihm die umgebende Luft stets athembar zu erhalten. Aus dem Oelverbrauch der Lampen lässt sich ferner ermitteln, dass jedes Grubenlicht in der Stunde etwa 7 Kubikmeter frischer Luft bedarf. Was endlich die wegen des Sprengens mit Pulver nöthige Luftmenge betrifft, so lag der Kommission ein sehr interessanter eingänglicher Bericht des Grafen von St. Robert, Oberstlieutenant der k. Artillerie, der in Angelegenheiten dieser Art als Autorität gilt, vor, dessen Hauptpunkte ich hier hervorhebe.

Zunächst wird unbedingt anempfohlen, dass man dem anzuwendenden Pulver nicht die Zusammensetzung des gewöhnlichen Sprengpulvers, sondern diejenige des

Polyt. Zeitschrift. Bd. II.

Schiesspulvers (polvere da guerra) zu geben, indem sich bei der Verbrennung des ersteren das nicht nur unathembare sondern auch noch giftige Kohlenoxydgas bilde, was beim letzteren nicht eintrete. Das Pulver von der Mischung des letzteren sei auch noch darum vorzuziehen, weil es nicht nur bei gleichem Gewicht, sondern auch bei gleichem Preise eine grössere dynamische Leistung zeige, als das gewöhnliche Sprengpulver.

Die Verbrennungsprodukte eines Kilogramms Schiesspulver sind:

- 0^k.49 Kohlensäure,
- 0^k.10 Stickstoff,
- 0^k.41 Kaliumsulfuret.

Die beiden ersten Erzeugnisse sind unathembare, aber nicht giftige Gase; der dritte Körper wird nur bei hoher Temperatur gasförmig, und findet sich daher nur unmittelbar nach dem Schusse in Gasform in der Luft, schlägt sich aber dann alsbald an den die Schussstelle umgebenden Körper nieder, wo er nach und nach gewisse Verbindungen mit dem Sauerstoff der Luft eingeht. Obgleich noch schärfere Beobachtungen hierüber fehlen, so darf man doch wohl annehmen, dass diese Rückstände hier nicht in besondere Rücksicht gezogen zu werden brauchen.

In Betreff der Kohlensäure ist es allgemein angenommen, dass dieselbe höchstens mit einem Gewichtsantheil von $\frac{1}{2}$ Prozent, d. h. 6 bis 8 Mal so stark, als sie es in der gewöhnlichen atmosphärischen Luft ist, in dieser auftreten dürfe, ohne der Athmung zu schaden. Hält man an dieser Ziffer fest, und benutzt sie auch für den durch die Pulververbrennung in die Luft gebrachten Stickstoffzuwachs, so sieht man, dass jedes Kilogramm Pulver etwa 120^k Luft verderben kann, oder dass, da 1 Kubikmeter Luft 1^k.2 wiegt, die Menge der durch 1 Kilogramm Pulver verdorbenen Luft $\frac{120}{1.2} = 100$ Kubikmeter beträgt. Diese Zahl dürfte aber, wie oben gesagt, nur als eine untere Grenze der zuzuführenden Menge frischer Luft betrachtet werden.

Nach Erfahrungen, die man beim Bergbau gemacht, wird es angemessen und genügend sein, diese Zahl für den regelmässigen Tunnelbau-Betrieb auf das 2 $\frac{1}{2}$ fache zu erhöhen, so dass man als Berechnungs-Grundlage für den Mont-Cenis-Tunnel annehmen kann, dass für jedes Kilogramm zu verbrauchenden Pulvers 250 Cubikmeter frischer Luft in den Tunnel getrieben werden müssen.

Es handelt sich nun darum, zu bestimmen, wie viel Pulver man auf den Kubikmeter abzulösenden Gesteines zu verwenden haben werde. Die Ingenieure Ranco und Braccio stellten der Kommission ihre von mehr als 350000 Sprengschüssen gezogenen praktischen Beobachtungen mit, deren Hauptzahlen ich hier folgen lasse:

Tiefe der Sprenglöcher vor Ort des Richtstollens 0^m.42
Zeit, welche zwei Bergleute zum Schlagen eines Sprengloches bedürfen 2 Stunden
Zeit zum Setzen und Abfeuern der Sprengladung und zur Beseitigung des Abraums 40 Min.
Sprengpulver für jede Ladung 0^k.15

eine Menge, welche sich bei Anwendung des Schiesspulvers wohl vermindern wird auf . 0^k,112
Menge des durch jeden Schuss abgelösten Gesteines 0,123 K.M
Demnach bedarf man für jeden Kubikmeter Abraum im Richtstollen:
Sprenglöcher 7 bis 8
von einer Gesamttiefe von 3^m
Arbeitszeit zweier Bergleute 20 Stund.
Sprengpulver 1^k,22
oder Schiesspulver 0^k,90

Für die Erweiterung des Richtstollens zum Tunnel können folgende Zahlen angenommen werden:

Tiefe eines Sprengloches 0^m,45
Zeitaufwand für jedes derselben 2 St. 40 Min.
Sprengpulver für jedes derselben 0^k,26
oder Schiesspulver für jedes derselben 0^k,20
Menge des durch jeden Schuss losgesprengten Gesteines 0,25 K. M.
und somit für jeden Kubikmeter Abraum im Tunnel:

Sprenglöcher 4
von einer Gesamttiefe von 1^m,80
Arbeitszeit zweier Bergleute 10 St. 40 M.
Sprengpulver 1^k,04
oder Schiesspulver 0^k,80.

Indem man diese Zahlen auf das vorliegende Bauwerk anwendet, setzt man freilich voraus, dass das zu durchbrechende Gestein von derselben Natur sein werde, wie in den sämtlich, mit Ausnahme eines einzigen, in Kalkstein getriebenen Tunnels, von welchen die obigen Beobachtungen entnommen wurden. *) Allein, dass dem so sein werde, ist durch geologische Untersuchungen sehr wahrscheinlich gemacht. Das Gutachten gibt hierüber in einem Anhang die ausführlich dargelegten Ansichten Sismonda's; auch Elie de Beaumont spricht sich in einem Briefe vom 20. Januar 1850 ähnlich aus. Die einzige Ausnahme ist die des wohl zu erwartenden Auftretens grösserer Massen von Quarzfels von grosser Härte, der bei Modane zu Tage ansteht. Doch werden allem Erwarten nach diese Massen nicht auffallend mächtig sein, und ihr Durchfahren, wenn es auch sehr mühsam ist, doch keinen Grund zu Besorgnissen abgeben.

Endlich ist noch über die Wasserkräfte zu sprechen, welche an den beiden Abhängen der Höhe von Fréjus zur Verfügung stehen. Was das Arco-Thal angeht, so wird die dort zu erhaltende Wassermenge jedenfalls genügend sein: in Betreff des Thales von Bardonnèche glaubte indess die Kommission, sich vorerst genauer versichern zu müssen. Die Regierung beauftragte deshalb den Inspektor Ritter Bella, die nöthigen Wassermessungen und die zugehörigen Untersuchungen zu machen. Der Bericht hierüber ist dem Gutachten als Anhang beigegeben.**) Die

*) Es sind dies die Tunnels von: Ham, Loran Cantal und Revin (Frankreich), Villavechia, Creverina, Pieve und San Benigno.

**) Cenni sulla quantità d'acqua discorrente nei torrenti presso di Bardonnèche.

Messungen ergaben, dass zwar der Bach von Rochemolle nicht immer genügend Wasser liefern könne, dass aber, wenn man ihm mittelst eines 2 Kilometer langen gedeckten Kanales noch ein anderes Gebirgswasser zuführte, man auch im strengsten Winter bei Bardonnèche über eine Wassermenge von 700 Liter per Sekunde mit 50^m Gefälle werde verfügen können. Dies gibt eine Arbeitstärke von 35000^{km} oder 350 Quintalometer, *) welche jedoch während 10 Monaten des Jahres sich auf 50000^{km} oder 5000 Quintalometer steigert. Berechnet man mittelst dieser Zahlen und dem früher angegebenen Nutzeffekt-Koeffizienten die Luftmenge, welche diese Wasserkraft zusammenpressen kann, so erhält man folgendes:

Pressung in Atmosphä- ren.	Luftmenge per Sekunde.		Luftmenge per Stunde.	
	Im Winter.	Im Sommer.	Im Winter.	Im Sommer.
	Liter.	Liter.	Kub.M.	Kub.M.
2	2827	4036	10177	14538
3	1818	2597	6545	9370
4	1472	2102	5299	7570
5	1269	1813	4568	6526
6	1135	1622	4086	5837

Anwendung der vorgeschlagenen Maschinen zum Treiben des Mont-Cénis-Tunnels.

Aus dem bis hieher Berichteten geht unzweifelhaft hervor, dass die grösste Schwierigkeit, welche sich dem Treiben eines 12 Kilometer langen Tunnels ohne Treibschächte entgegenstellt, diejenige der Luftzuführung ist. Alle übrigen könnten, wenn man vom Zeitaufwand einstweilen absieht, durch die bisherigen Mittel überwunden werden; aber auch diese Schwierigkeit ist nunmehr, Dank der hydraulischen Luftpresse der Ingenieure Grandis, Grattoni und Sommeiller, nicht mehr als Hinderniss zu betrachten. Um deren Anwendbarkeit und ihre Erfolge im vorliegenden Falle zu untersuchen, denke man sich den Richtstollen einige hundert Meter vorgebracht, was bei der kleinen darin anzubringenden Arbeiterzahl und des kleinen Pulververbrauches bei einer der gewöhnlichen Ventilationsarten bewerkstelligt werden könnte, und frage sich nun, mit welcher Schnelligkeit unter Aufwendung aller Hilfsmittel die Erweiterung des Stollens auf den Tunnelquerschnitt bei der vorhandenen Wasserkraft geschehen könne. Wir wollen diese Untersuchung auf die wasserarme Zeit beziehen und ermitteln, um welches Kubikmaass die Erweiterung per Tag vorschreiten könne.

Für das Lossprengen von je 100 Kubikmeter Gestein bedarf es nach dem Früheren 400 Sprenglöcher und 80^k Schiesspulver. Diese Sprengarbeit erfordert 100 · 2 · 10,7 Stunden = 2140 Arbeitsstunden, oder, wenn man zu 10 Arbeitsstunden noch 2 Stunden Ruhezeit hinzunimmt, 214 zwölfstündige Schichten. Will man dieselbe Arbeit nun in 24 Stunden oder 2 Schichten ausführen, so bedarf es dazu 107 Bergleute. Diesen werden an Handlangern, Tagelöhnern, Zimmerleuten und Maurern für Gerüst- und Aus-

*) Unter einem „Quintalometer pro Sekunde“ oder auch „Quintalometer“ schlechthin verstehe ich eine Arbeitstärke von 100^{km}, d. h. die Intensität einer Arbeit, welche 100 Kilogramm per Sekunde leistet. Siehe „Civil-Ingenieur“ III. Bd. S. 112 meine Abhandlung: „Ueber die Unbestimmtheit des Ausdrucks und Werthes „Pferdekraft“ u. s. w.

setzarbeiten noch etwa 60 Mann hinzugefügt werden müssen. Erhalten je zwei Arbeiter ein Grubenlicht, so hat man nun als Luftbedarf für 24 Stunden:

Für 167 Menschen zu je 24 · 10 Kub. M.	40080 Kub. M.
Für 83 Grubenlichter zu je 24 · 7 Kub. M.	13944 » »
Für 80 ^k Schiesspulver zu 250 Kub. M.	20000 » »

Zusammen pro Tag	74024 Kub. M.
oder in der Stunde	3084 » »

Nun beträgt in der wasserarmen Zeit die Luftmenge, welche, auf 6 Atmosphären gepresst, herbeigeschafft werden kann, wie die obige Tabelle zeigt, 4086 Kub. M., so dass man sogar die Arbeiterzahl noch so weit vermehren dürfte, dass $\frac{4086}{3084} \cdot 100 = 132$ Kub. M. Gestein gefördert werden könnten.

Die Ingenieure machten sich anheischig, in der 40 Quadratmeter haltenden Strecke mittelst ihrer Ventilation ein tägliches Vorrücken von 3 Metern zulässig zu machen, d. h. den Luftbedarf für das Auffahren von 120 Kub. M. pro Tag zu liefern. Man sieht, dass dies sehr wohl erfüllt werden kann, und dabei noch ein Ueberschuss für den Betrieb des Richtstollens bleibt, welcher, wie eine kleine Rechnung zeigt, vollständig ausreichend ist, um auch hier ein Auffahren von 3^m per Tag zuzulassen. Letzteres kann bei Anwendung der Steinbohrmaschinen ebenfalls erreicht werden.

Bei der Ermittlung des Luftbedarfes braucht die zum Betrieb der Steinbohrmaschinen erforderliche Luft nicht in Anschlag gebracht zu werden, da dieselbe je nach Vollbringung ihrer Arbeit selbst zur Ventilation dient. Die Gesamtmenge der einzuführenden atmosphärischen Luft bei einem täglichen Vorrücken um 3^m in Richtstollen und Tunnel ergibt sich zu 4023 Kub. M. Die vorhandene Wasserkraft vermag aber vermittelt der hydraulischen Luftpressen 4086 Kub. M., d. h. in vollem Maass die erforderliche Menge zu liefern, und somit kann die Kommission die eine der ihr vorgelegten Fragen bereits dahin beantworten: dass die vorgeschlagene hydraulische Luftpresse die Lüfterneuerung für die Arbeiten im Mont-Cénis-Tunnel sicher stellt, und somit das grösste Hinderniss, welches sich der Ausführung desselben entgegensetzen kann, beseitigt.

Um genau zu verfahren, muss man sagen, dass die verfügbare Luftmenge die nothwendige nur um 1½ Proc. übersteigt; allein man muss bedenken, dass sich die Berechnung auf die Wintermonate bezog; in der wärmeren Jahreszeit ergibt sich ein Ueberschuss von 45 Procent, immer die Spannung von 6 Atmosphären vorausgesetzt. Doch wird man bei dieser wohl so viel als möglich bleiben müssen, um die Bohrmaschinen stets kräftig betreiben zu können. Es kann somit an dem obigen Schluss festgehalten werden, jedoch muss derselbe noch in zwei Hinsichten verschärft und begrenzt werden. Diese sind:

1) Wie viele und wie grosse Apparate gebraucht man, um die verfügbare Wasserkraft zur Luftpressung zu benutzen?

2) Welchen Inhalt müssen die Windkessel haben, damit sie stets Luft genug enthalten, um den plötzlichen Luftentziehungen genügen zu können?

Bei der Luftpresse von San Pier d'Arena hat der Presscylinder 0^m.45 dichten Durchmesser und verbraucht dabei 732^{km} von der verfügbaren Wasserkraft. Indem man andere ähnliche Maschinen mit der vorliegenden vergleicht, kann man, wie auch von einem tüchtigen Maschinen-Ingenieur versichert wird, ohne Schwierigkeiten bei demselben Hub den doppelten Cylinder-Durchmesser anwenden, der 4 Mal so viel Arbeitstärke, nämlich 2928^{km} erfordern würde. Soll nun die grösste verfügbare Wasserkraft ausgenutzt werden, welche wie oben gesagt 50000^{km} liefert, so bedarf es $\frac{50000}{2928} =$ etwa 18 Maschinen, oder

für beide Tunnelleingänge zusammen 36 Luftpressen, ohne Zweifel eine ansehnliche Zahl, welche aber im Verhältniss zu dem grossen damit auszuführenden Werke doch nicht übermässig erscheinen dürfte. Einen klaren Begriff von der Grösse der aufgewandten Arbeit erhält man, wenn man die Stärke derselben in Pferdestärken ausdrückt. Die 50000^{km}, welche an jedem Eingang verbraucht werden sollen, geben bei 50 Procent Nutzeffekt $\frac{25000}{100} = 250$ Quin-

talometer pro Sekunde oder $\frac{4}{3} \cdot 250 = 333$ Pferdestärken Nutzleistung, an beiden Tunnel-Enden zusammen also bei ganz voller Thätigkeit über 650 Pferdestärken.

In Betreff der zweiten Frage wird in dem Gutachten die Berechnung so gestellt, dass die Windkessel das Doppelte derjenigen Luftmenge enthalten sollen, welches bei der grösstmöglichen gleichzeitig abzufeuernenden Pulvermenge erforderlich sein würde, wobei sich ein Rauminhalt von 300 Kubikmeter ergibt.

Dies Alles zeigt, dass sich vermittelt der neuen Luftpresse bei dem vorliegenden Tunnelbau eine Luftzuführung herstellen lässt, welche für ein tägliches Vorrücken um drei Meter genügen würde. Es fragt sich aber hier, ist ein so ausserordentlich grosses tägliches Vorrücken möglich? Oben wurde besprochen, dass die Raschheit des Vorrückens hauptsächlich von der Schnelligkeit abhängt, mit welcher der Richtstollen getrieben werden kann, eine Schnelligkeit, die bei mittlerer Steinhärte unter Anwendung der gewöhnlichen Mittel etwa 40 Centimeter pro Tag beträgt. Um diese mit Hülfe der Bohrmaschine auf das 7½fache zu erhöhen, schlägt der von den Ingenieuren vorgelegte Arbeitsplan folgendes vor.

An dem Ortstoss, der ein Quadrat von 2,5^m Seite, also 6¼ Quadratmeter Fläche ist, sollen 17 Maschinenbohrer angebracht werden. Zehn von diesen befinden sich dicht am Boden der Strecke und schlagen jeder drei nahe nebeneinanderliegende Bohrlöcher von 60 Centimeter Tiefe, so dass also durch dreimaliges Wirken dieser Bohrer an der Sohle des Stollens 30 Bohrlöcher entstehen. Diese dienen nicht als Sprenglöcher, sondern befreien eine Steinbank von der zu bildenden Sohle, sie bilden das, was man im Bergbau einen »Schram« nennt. Die Löcher sind zu diesem Ende

auch nicht genau in horizontaler Richtung gebohrt, sondern fallen, etwas über der Sohle ansetzend, ein Geringes in der Stollenrichtung ein. Die Sohle braucht in Folge dessen nicht nachgearbeitet zu werden; sie erhält bei diesem Verfahren, wenn der Vergleich gestattet ist, die Form einer stumpfzahnigen Säge oder einer Bleifeile.

Die übrigen 7 Bohrer sollen ebenfalls je 3 Löcher, also zusammen deren 21 schlagen, welche an der Ortstossfläche passend vertheilt als Sprenglöcher dienen sollen. Fünfmal des Tages sollen diese Bohrungen gemacht werden; d. h. man rechnet auf das Bohren der Schram- und Sprenglöcher, das Laden und Wegthun der Schüsse und das Beiseitigen des Abraums $\frac{4}{5}$ Stunden.

Sämmtliche Bohrmaschinen liegen auf einer Art von Wagen, 10 am Boden neben einander, die 7 übrigen der Gesteinfläche gegenüber passend vertheilt, alle leicht verschiebbar. Der Wagen bewegt sich auf Schienen, welche nahe an den Stössen des Stollens liegen, und kann auf diesen leicht zurückbewegt werden, wenn die Schüsse geladen und abgefeuert werden sollen. Zugleich ist der Wagen so eingerichtet, dass sich sämmtliche Bohrmaschinen zu beiden Seiten und nach oben zurückschieben lassen, so dass alsdann der Wagenquerschnitt etwa die Form eines umgekehrten lateinischen U erhält. Die Laufräder haben ausserdem keine durchgehenden, sondern ganz kurze zweilagere Achsen. In Folge davon bleibt in der Mitte des Wagens ein freier Raum, durch welchen man auf einem zweiten schmalen Schienengeleise andere Wagen (sog. Förderhunde), welche zum Fortbringen des Abraumes dienen, hindurchführen kann. Auf diese Weise wird es möglich, den Ortstoss sehr rasch wieder frei zu machen, oder wenigstens sehr bald nach dem Schuss mit dem Abräumen zu beginnen. Die ganze angedeutete Art des Arbeitens stützt sich, wie man sieht, darauf, dass die Bohrmaschinen sich klein genug konstruiren lassen, um die besprochene Anbringungsweise zulässig zu machen (was aber nach dem oben Mitgetheilten erreichbar ist), und von vier Arbeitern an den Ortstoss und wieder zurückgebracht werden können; dass das Bohren so bequem geleitet werden könne, um die Leitung der Maschinen durch zwei Maschinenwärter ausführen lassen zu können; dass die 21 Sprenglöcher von 60 Centimeter Tiefe in Folge der nützlichen Wirkung des Schrams an der Streckensohle ebensostark wirken, als 37 gewöhnliche Sprenglöcher von 42 Centimeter Tiefe, d. h. eine Gesteinmasse von 3,75 Kubikmeter ablösen; dass das Wegräumen der Berge nach etwa einer Stunde vor Ort Raum genug geschafft habe, um wieder mit Bohren beginnen zu können; dass endlich die Sprengung sehr gleichmässig erfolge, so dass nur wenig mit der Keilhaue nachgearbeitet werden müsse.

Die vorschlagenden Ingenieure hatten dies Alles in einer ausführlichen Denkschrift sorgfältig zusammengestellt und diese der Kommission unterbreitet. Diese prüfte mit dem grössten Interesse die Vorschläge, hielt es jedoch weder für angemessen, noch besonders erspriesslich, sich dahin auszusprechen, dass sie die Ausführbarkeit aller Punkte anerkenne, indem sie dafür hielt, dass die Erfahrung von wenigen Wochen mehr leisten und beweisen werde, als die geistreichste Beurtheilung in einem solchen

Falle jemals könne; sie beschränkte daher ihre Begutachtung darauf: dass unbezweifelt die Anwendung der vorgeschlagenen Arbeitsweise das Treiben des Richtstollens um ein Bedeutendes (grandemente) abkürzen werde und dass der Vortheil der neuen Werkzeuge um so grösser sein werde, je härter das zu durchfahrende Gestein und je grösser die vorzunehmende Arbeit sei. Im Zusammenhang hiermit nahm die Kommission auch davon Abstand, eine Berechnung der Dauer und der Kosten der ganzen Tunnelarbeit anzustellen, indem eine solche doch in keinem Falle sicher sein könne, da das Auftreten einer dicken sehr harten Gesteinschicht, plötzliche heftige Wasserzuflüsse, oder auch eine zu geringe Festigkeit einzelner anzufahrender Schichten den Ausgang des Unternehmens zwar nicht in Frage stellen, dasselbe jedoch bedeutend aufhalten könnten.

Das Gutachten nähert sich nun, da alle vorgelegten Pläne geprüft, alle angeordneten Versuche ausgeführt sind, seinem Schlusse, d. h. den besondern Vorschlägen, welche die Kommission der Regierung auf Grund ihrer Arbeiten unterbreitet. Zunächst scheint ihr nach Allem keine andere Entschliessung rathsam, als diejenige, den Alpentunnel beginnen zu lassen, jedoch die Arbeit anfänglich in kleinem Maassstab zu treiben. Ehe sie geradezu angegriffen werden könne, seien noch genaue geodätische Vermessungen vorzunehmen, um die beiden Tunnelleitungen und das Streichen und Fallen der anzufangenden Strecken ganz genau zu bestimmen. Mit diesen Vermessungen wolle man ja nicht zögern, um nicht durch die rauhe Jahreszeit abermals um ein Jahr aufgehalten zu werden. Den Richtstollen solle man an einem oder an beiden Enden, übrigens mit den gewöhnlichen, bisher gebräuchlichen Mitteln und Werkzeugen beginnen und während des Auffahrens der ersten 100 oder 200 Meter (das mit den gewöhnlichen Luftzuführungsmitteln geschehen könne) die ersten Luftpressen und Bohrmaschinen bauen, um darauf mit diesen versuchsweise zu arbeiten, d. h. die Arbeiter einzuüben, die allfälligen Mängel der Apparate kennen zu lernen, die Proben über die anfangs erreichbare Raschheit des Arbeitens anzustellen. Dann solle man mit dem Bau der ferner nöthigen Maschinen vorgehen und die Arbeiten, vorausgesetzt und in der festen Erwartung, dass dieselben gelingen würden, nun mit aller Kraft angreifen, um in den vollständigen und raschen Betrieb hineinzukommen.

Das Gutachten fasst darauf sämmtliche bisher gezogenen Schlüsse in acht Sätzen zusammen, die ich nicht wiederhole, weil sie nur in kurzer, der Begutachtung angemessenen Form das bereits Bekannte enthalten. Die Abhandlung schliesst darauf mit folgenden Worten: «Mit diesen Schlüssen glaubt die Kommission dem Auftrag, mit welchem sie beehrt worden ist, nachgekommen zu sein. Sie will indessen die Feder nicht niederlegen, ohne hinzugefügt zu haben, dass, während sie mit gerechter Anerkennung die Arbeiten von Maus, Colladon und Bartlett von den vorschlagenden Ingenieuren fruchtbar gemacht sieht; während sie in der hydraulischen Luftpresse eine

höchst werthvolle Erwerbung für die Industrie erkennt, vermöge deren namentlich die Künste und Gewerbe in grossen Städten forthin leicht mit den ihnen so unentbehrlichen bewegendenden Kräften versehen werden können, sie ebenso in der nun nicht mehr schwierigen Beschaffung einer so zu sagen unbegrenzten Menge stark gepresster Luft ein neues Feld der Forschung für wissenschaftliche Versuche erblickt, welche eine reiche Ausbeute an Entdeckungen denjenigen verheissen, die in die Fusstapfen eines Michelotti und eines Bidone zu treten vermögen; im Hinblick darauf hegt sie die Erwartung, dass die Erfindung der Ingenieure Grandis, Grattoni und Sommeiller sowohl auf dem Felde der Wissenschaft als demjenigen der Industrie angethan sei, den Ruf des piemontesischen Namens zu erhöhen.«

Theorie der hydraulischen Luftpresse.

Ich glaube die vorliegende Abhandlung um vieles brauchbarer zu machen, wenn ich ihr eine kurzgefasste Theorie der hydraulischen Luftpresse, sowie einige Bemerkungen über ihre Konstruktion, und diejenige der Steinbohrmaschine hinzufüge. Jene Theorie ist, wenn man von einzelnen Nebenumständen absieht, nicht schwierig.

Wenn das Wasser im Presscylinder A Fig. 3 vor Beginn des Spieles bei S_0S_0 steht, so ist der übrige Raum S_0S_0SS mit atmosphärischer Luft gefüllt. Das Wasser steigt nun nach Eröffnung des Einlass-Ventils auf; hat es eine gewisse Höhe S_1S_1 erreicht, bei welcher die Luft die Spannung des Windkessels erreicht hat, so öffnet sich das Abblaseventil im Scheitel des Cylinders, und die Wassersäule steigt nun noch eine Strecke weit, nehmen wir an bis S_2S_2 auf, die Luft vor sich hertreibend. Bei S_2 ist die lebendige Kraft der Wassersäule verbraucht und das Einlassventil wird geschlossen; damit schliesst sich auch das Abblaseventil, und das im Cylinder befindliche Wasser kann nun durch Eröffnung des Auslassventils wieder abgelassen werden. Hierbei dehnt sich zunächst die in dem Raum SSS_2S_2 befindliche gepresste Luft wieder bis zu atmosphärischer Spannung aus, ihre Zusammenpressung war also eine verlorene Arbeit, und danach erst öffnet sich das Luftventil, um die Luft von aussen eintreten und den Cylinder wieder vollends füllen zu lassen. Es fragt sich nun, wie viel Luft eine gegebene Wasserkraft von bekannter Wassermenge und Gefällhöhe zusammenpressen, welche Spannung sie derselben bei gegebenen Verhältnissen ertheilen kann und welsche Abmessungen man der Maschine in jedem einzelnen Fall zu geben habe; zugleich wird es auch von Interesse sein, den Arbeitsverlust zu ermitteln, den der obere unerfüllt bleibende Raum entstehen macht.

Bezeichnet man den Raum S_0S_0SS mit V_0 , die darin herrschende atmosphärische Luftspannung mit p_0 , und den Raum S_1S_1SS mit V_1 , so ist die Arbeit A_0 , welche die Wassersäule beim Aufsteigen von S_0 nach S_1 ausübt, wenn man das Mariotte'sche Gesetz zu Grunde legt:

$$A_0 = V_0 p_0 \log. \text{nat.} \frac{p}{p_0} - (V_0 - V_1) p_0$$

Das Glied $(V_0 - V_1) p_0$ bezeichnet hierbei den Antheil an dieser Arbeit, welcher dem Druck der Atmosphäre auf die Wassersäule entspricht. Ist nun p die Spannung, welche der Luft durch die Zusammendrückung auf den Raum V_1 ertheilt worden ist, so hat man auch $V_1 p = V_0 p_0$, oder $\frac{V_0}{V_1} = \frac{p}{p_0}$ und somit auch

$$A_0 = V_0 p_0 \log. \text{nat.} \frac{p}{p_0} - (V_0 - V_1) p_0 \quad (1)$$

Zur Beförderung der zusammengedrückten Luft von S_1 nach S_2 bedarf es ferner einer Arbeit A_1 :

$$A_1 = (V_1 - V) p - (V_1 - V) p_0 \quad (2)$$

wenn man mit V den Raum S_2S_2SS bezeichnet. Addirt man die Gleichungen (1) und (2), so erhält man die Gesamtarbeit $A = A_0 + A_1$, welche die Wassersäule bei ihrem Aufsteigen verrichtet:

$$A = A_0 + A_1 = V_0 p_0 \log. \text{nat.} \frac{p}{p_0} - V (p - p_0) \quad (3)$$

V kann man hier den schädlichen Raum nennen, indem die darin enthaltene gepresste Luft beim Sinken der Wassersäule eine nutzlose Arbeit verrichtet, während doch auf die Zusammenpressung der darin enthaltenen Luft ein Theil der lebendigen Kraft der Wassersäule verwendet werden musste. Diese schädliche Arbeit A_2 hat aber den folgenden Werth:

$$A_2 = V p \log. \text{nat.} \frac{p}{p_0} - (V \frac{p}{p_0} - V) p_0$$

oder:

$$A_2 = V \left(p \log. \text{nat.} \frac{p}{p_0} - (p - p_0) \right) \quad (4)$$

Theilt man nun Gleichung (4) durch (3), so erhält man den verhältnissmässigen Arbeitsverlust, der a heissen möge:

$$a = \frac{A_2}{A} = \frac{V \left[p \log. \text{nat.} \frac{p}{p_0} - (p - p_0) \right]}{V_0 \left[p_0 \log. \text{nat.} \frac{p}{p_0} - \frac{V}{V_0} (p - p_0) \right]}$$

Drückt man die Luftspannungen in Atmosphären aus, so ist $p_0 = 1$, und man erhält:

$$a = \frac{V}{V_0} \frac{p \log. \text{nat.} p - (p - 1)}{\log. \text{nat.} p - \frac{V}{V_0} (p - 1)} \quad (5)$$

Dieser Arbeitsverlust hängt also nicht allein von dem Verhältniss $\frac{V}{V_0}$, sondern auch von der Grösse der erzeugenden Luftspannung p ab, und wächst stark mit der letzteren. Man kann sich dies auch leicht erklären, wenn man bedenkt, dass bei einigermassen starker Zusammenpressung der Raum V leicht einen grossen Theil des Raumes V_1 ausmachen kann, der ja schon um das $\frac{p}{p_0}$ -fache kleiner ist, als V_0 . Der Verlust a kann sich leicht hoch belaufen. Ist z. B. $V = \frac{1}{10} V_0$, so hat man bei $p = 6$:

$$a = \frac{1}{10} \frac{6 \cdot \log. \text{nat.} 6 - 5}{\log. \text{nat.} 6 - \frac{1}{2}}$$

oder, da $\log. \text{nat.} 6 = 1,7918$,

$$a = \frac{1}{10} \frac{6 \cdot 1,7918 - 5}{1,7918 - 0,5} = \frac{5,7508}{12,918} = 0,445$$

also beinahe die Hälfte der ganzen Arbeit. Nimmt man $\frac{V}{V_0} = \frac{1}{20}$, und ebenfalls $p = 6$, so wird:

$$a = \frac{1}{20} \cdot \frac{5,7508}{1,5448} = \frac{5,7508}{30,836} = 0,186$$

also auch im letzteren Falle immer noch sehr bedeutend, woraus hervorgeht, dass man jedenfalls suchen muss, den schädlichen Raum klein, wo möglich = Null zu machen. Es können aber in Bezug auf V drei verschiedene Fälle eintreten; V kann nämlich positiv, negativ oder Null sein.

Erster Fall. V positiv. Dies heisst, die lebendige Kraft der Wassersäule ist verbraucht, ehe der Wasserspiegel im Cylinderscheitel SS angekommen ist, wobei der in (5) ausgedrückte Verlust stattfindet; es ist klar, dass wenn man unter sonst gleichen Umständen p verminderte, V kleiner ausfallen würde.

Zweiter Fall. V negativ. Die Wassersäule hat noch lebendige Kraft, wenn sie das (bereits offene) Abblaseventil erreicht; sie stösst dann mehr oder weniger heftig gegen dieses, und tritt zum Theil in das Luftrohr hinein. Um diesen Uebelstand zu verhüten, hätte p bei sonst gleichbleibenden Verhältnissen grösser sein müssen.

Dritter Fall. $V = \text{Null}$. Die Wassersäule verbraucht genau ihre lebendige Kraft, um bis an das Abblaseventil zu steigen; die Spannung p dürfte also weder kleiner noch grösser sein.

Man kann aber die Spannung p , welche diejenige des Windkessels ist, durch die Gegenwassersäule auf jede beliebige Höhe bringen, also mittelst derselben stets p so reguliren, dass es genau die richtige Grösse erhält. Dies muss bei dem starken Einfluss des schädlichen Raumes stets vorgenommen werden, und wir können deshalb annehmen, dass, nachdem man die Abmessungen des Cylinders wie unten zu besprechen, bestimmt, man die Spannung p so regulirt habe, dass $V = \text{Null}$ wird. Alsdann aber wird das letzte Glied in Formel (3) ebenfalls Null, und wir erhalten als Gleichung für die Arbeit A :

$$A = V_0 p_0 \log. \text{nat.} \frac{p}{p_0} \dots \dots \dots (6)$$

Ist nun P der Druck der Atmosphäre auf die Flächeneinheit, so ergibt dies bei n Spielen pro Minute eine Arbeitstärke oder Arbeit pro Sekunde:

$$A \frac{n}{60} = \frac{n}{60} V_0 P \log. \text{nat.} p$$

Diese Arbeitstärke muss aber gleich sein derjenigen, welche das Triebwasser ausübt. Ist die pro Sekunde verfügbare Wassermenge = Q und die Höhe der wirksamen Wassersäule von dem Spiegel $S_0 S_0$ ausgerechnet = H (wobei angenommen wird, dass das Gefälle von S_0 bis zum Unterwasserspiegel verloren sei), ferner die Höhe $S_0 S$ des Presscylinders = h , so hat die wirksame Wassersäule im Mittel eine Höhe $H - \frac{h}{2}$, und die theoretische Arbeitstärke des Wassergefälles ist

$$Q \left(H - \frac{h}{2} \right) \gamma$$

wobei γ das Gewicht der Kubikeinheit des Wassers bezeichnet. Dieselbe kann aber nur zum Theil nutzbar gemacht werden, und zwar erhält man die ausgegebene Arbeitstärke, indem man die theoretische mit dem Nutzefficienten, den wir mit φ bezeichnen wollen, multiplicirt. Somit erhält man dann als Gleichung zwischen der eingeleiteten und ausgegebenen Arbeitstärke:

$$\frac{n}{60} V_0 P \log. \text{nat.} p = \varphi Q \left(H - \frac{h}{2} \right) \gamma$$

$\frac{n}{60} V_0$ drückt hierbei das Volumen der auf atmosphärischen Druck zurückgeführten Luft von der Spannung p aus, welche die Wassermenge Q in den Windkessel treibt. Da das Wasser einfach die Stelle der Luft im Presscylinder einnimmt, so ist theoretisch $Q = \frac{n}{60} V_0$; in der Praxis finden aber, wie die

Versuche zeigten, stets Luft- und namentlich Wasserverluste statt, so dass z. B. bei der Maschine in San Pier d'Arena nach den Zahlenangaben auf S. 153 $Q = 1,45$ Mal der verdrängten Luftmenge war; wir setzen allgemein $Q = \alpha \cdot \frac{n}{60} V_0$, und haben, wenn dies oben eingeführt wird:

$$\frac{n}{60} V_0 P \log. \text{nat.} p = \varphi \alpha \frac{n}{60} V_0 \left(H - \frac{h}{2} \right) \gamma$$

oder

$$\log. \text{nat.} p = \frac{\varphi \alpha}{P} \left(H - \frac{h}{2} \right) \gamma \dots \dots \dots (7)$$

woraus man auch hat:

$$p = e^{\frac{\varphi \alpha}{P} \left(H - \frac{h}{2} \right) \gamma} \dots \dots \dots (8)$$

wenn man unter e die Grundzahl der natürlichen Logarithmen, also die Zahl 2,718.... versteht.

Diese Formeln zeigen, dass die erzeugbare Spannung p von der Wassermenge Q unabhängig ist, dagegen in festem Zusammenhang steht mit der Gefällhöhe H und der Cylinderhöhe h . Dieser letztere Umstand ist für die Ausführung besonders wichtig, indem man durch Annahme von h bei gegebener Wassermenge ohne Weiteres der Spannung p eine gewünschte Grösse geben kann, oder dass umgekehrt bei gegebenem H und h die Höhe der Gegenwassersäule ebenfalls fest bestimmt ist.

Um die gefundenen Formeln benutzen zu können, sind noch die verschiedenen allgemeinen Werthe durch Zahlenwerthe auszudrücken. Legt man als Maasseinheiten Meter und Kilogramm zu Grunde, so ist $P = 10325$, $\gamma = 1000$. Ferner haben die Versuche geliefert: $\varphi = 0,53$ und $\alpha = 1,45$, mithin hat man:

$$\log. \text{nat.} p = \frac{1000 \cdot 0,53 \cdot 1,45}{10325} \left(H - \frac{h}{2} \right)$$

woraus:

$$\log. \text{nat.} p = 0,0745 \left(H - \frac{h}{2} \right) \dots \dots \dots$$

oder

$$p = 2,718 \dots \dots \dots (9)$$

Ich habe hierbei den in dem Gutachten zuerst berechneten Coefficienten $\varphi = 0,53$ eingeführt, und zwar mit Absicht nicht den kleineren 0,50 genommen; ich glaube

sogar, dass man aus Gründen, deren Ausführung hier zu weit führen würde, unbedenklich einen noch etwas höhern Coëfficienten als richtig annehmen dürfte. Ohne Zweifel wird auch die im Gutachten ausgesprochene Ansicht, dass man den Nutzeffekt durch Verbesserungen auf 0,60 werde steigern können, sich leicht bewahrheiten.

Formel (9) zeigt das interessante Ergebniss, dass p mit Erhöhung von $\left(H - \frac{h}{2}\right)$ sehr rasch zunimmt, und dass die Maschine Luftpressungen von ganz bedeutender Höhe zu liefern vermag. Den besten Ueberblick hierüber wird die folgende Tabelle verleihen, in welcher ausser der wirklichen inneren Spannung p auch noch der Ueberdruck über die atmosphärische Spannung angegeben ist.

$\left(H - \frac{h}{2}\right)$ Meter	p Atmosphären	Ueber- druck Atmosphären	$\left(H - \frac{h}{2}\right)$ Meter	p Atmosphären	Ueber- druck Atmosphären
1	1,077	0,08	12	2,445	1,44
2	1,161	0,16	14	2,838	1,84
3	1,250	0,25	16	3,294	2,29
4	1,347	0,35	18	3,823	2,83
5	1,451	0,45	20	4,437	3,44
6	1,564	0,56	25	6,440	5,44
8	1,815	0,81	30	9,346	8,35
10	2,102	1,10	35	13,565	12,56

Diese Zahlen zeigen recht deutlich, wie leicht es mit der neuen Maschine gelingt, hohe Luftpressungen zu erzeugen. Schon bei geringen Gefällen, von $1\frac{1}{2}^m$ z. B., könnte man leicht $\left(H - \frac{h}{2}\right) = 1^m$ machen, indem man $h = 1^m$ nähme; man erhält dabei schon eine Luftpressung von 1,077 Atmosphären oder nahe 0,08 Atmosphären Ueberdruck, wie man es etwa bei Hochofengebläsen gebraucht. Auf diesem letzteren Gebiet eröffnet sich, wie mir scheint, der neuen Maschine ein weites Feld sehr nützlicher Anwendungen, indem man nicht selten bei Hochofenanlagen über nicht allzuhohe aber sehr reichliche Gefälle zu verfügen hat. Nutzt man diese mit Wasserrädern aus, welche die Gebläsemaschinerie treiben, so kommt man nicht nur auf höhere Anlagekosten, sondern auch auf einen weit geringeren Effekt, als bei der vorliegenden Maschine. Leicht wird es auch bei einer solchen gelingen, höhere Luftpressungen, als die bisher gebräuchlichen, beim Hochofenbetrieb wenigstens zu versuchen.

Ist $H - \frac{h}{2}$ gross, so nimmt p sehr bald ausserordentlich hohe Werthe an, Werthe, die vielleicht selten benutzt werden dürften, *) die aber nun doch wenigstens hervor-

*) Streng richtig ist die Annahme, dass das mittlere Gefälle $= H - \frac{h}{2}$ sei, nicht; jedoch macht sich diese Ungenauigkeit nur bei grossen Werthen von h , wo die Masse des in den Cylinder tretenden Wassers gegen die im Einfallrohr nicht vernachlässigt werden darf. Es sind deshalb die Zahlen der obigen Tabelle stets mit Berücksichtigung dieses Umstandes zu benutzen.

zubringen sind. Etwas beeinflusst möchten übrigens die Werthe von p durch die bei den obigen Rechnungen unberücksichtigt gebliebenen Temperatur-Aenderungen werden, welche die Luft durch die Zusammenpressung erfährt.

Nicht zu übersehen ist, dass die angegebenen Höhen die Unterschiede zwischen der Gefällhöhe H und der halben Cylinderhöhe $\frac{h}{2}$ bezeichnen, wodurch die Werthe der Tabelle auch den Einfluss von h zu erkennen geben. Aus Formel (9) können wir aber auch leicht eine solche für die Grösse von h ableiten, welche bei gegebenem Gefälle H und gewünschter Spannung p anzunehmen sein wird. Man erhält nämlich:

$$H - \frac{h}{2} = \frac{\log. nat. p}{0,0745}$$

woraus

$$h = 2H - \frac{2 \log. nat. p}{0,0745}$$

oder

$$h = 2(H - 13,42 \log. nat. p) \quad (10)$$

Beispiel. Will man bei $H = 50^m$ die Spannung $p = 6$ Atmosphären erhalten, so hat man zu machen, da $\log. nat. 6 = 1,7918$:

$$h = 2(50 - 1,7918 \cdot 13,42)$$

woraus sich ergibt:

$$h = 26^m$$

eine Cylinderhöhe, welche man als unpraktisch gross bezeichnen muss, und nicht wohl anwenden kann. *) Vielmehr muss man bei so hohem Gefälle dasselbe in zwei oder mehr Theile theilen, und die sich dabei ergebenden Wassersäulen einzeln benutzen. Hiezu wird man auch wohl beim Mont-Cenis-Tunnel genöthigt sein, wo ja auf der Seite von Bardonnèche ein Gefälle von 50^m vorliegt. Eine solche Eintheilung des Gefälles wird auch nicht selten bei geringeren Gefällhöhen anzurathen sein, wenn die hervorzubringenden Luftspannungen verhältnissmässig klein sind.

Was nun ferner die Luftmenge betrifft, welche eine gegebene Wasserkraft zusammenzupressen vermag, so wurde diese schon oben bei Ermittlung von Formel (7) gefunden. Es zeigte sich nämlich dort, dass die Menge der Luft von atmosphärischer Spannung, welche eine Wassermenge Q zusammenzupressen vermag, nicht von der Gefällhöhe H abhängt, sondern nur von Q selbst abhängig ist. Nennt man jene Luftmenge L , so hat man nach dem Obigen allgemein: $Q = \alpha L$, und zwar ergaben die Versuche in San Pier d'Arena $\alpha = 1,45$, so dass wir haben:

$$\left. \begin{aligned} Q &= 1,45 L \\ L &= 0,69 Q \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Während also die erreichbare Luftpressung nur von den Höhen H und h und nicht von der Wassermenge Q abhängt, sind H und h ganz ohne Einfluss auf die Luftmenge L , vielmehr wird diese unmittelbar durch die verfügbare Wassermenge Q bedingt. Auf den ersten Blick könnte der letztere Umstand hinderlich erscheinen. Bei Hochofenanlage hat man z. B. manchmal eine vollständig ausreichende Wasserkraft, aber vielleicht wenig Wasser mit

*) Vergl. übrigens die vorige Anmerkung.

hohem Gefälle, so dass man nur wenig Luft liefern, diese aber auf grosse Spannung zusammendrücken könnte. Allein in solchen Fällen kann man sich meistens leicht durch das oben erwähnte Eintheilen der Gefällhöhe helfen. So sei z. B. bei einem Hochofen, der pro Sekunde 1 Kubikmeter Luft von atmosphärischer Spannung bedürfe, die auf $\frac{1}{6}$ Atm. Ueberdruck zusammengepresst werden soll, ein Gefälle $H = 8^m$ und eine Wassermenge $Q = \frac{1}{2}$ Kub. Meter vorhanden, so würde sich hier das Gebläse sehr gut mittelst hydraulischer Luftpressen einrichten lassen. Man theile nämlich das Gefälle in 3 Theile, jeden von $2,5^m$ (wobei die übrigen 50 Centimeter auf die unvermeidlichen Gefällverluste gehen könnten) und errichte 3 Luftpressen, von welchen nun jede $\frac{1}{2}$ Kubikm. Wasser zur Verfügung hat. Es liefert also jede eine Luftmenge $L_1 = 0,345$ Kub. M., mithin alle drei zusammen $3 \cdot 0,345 = 1,035$ Kub. M. Luft. Diese kann leicht auf $\frac{1}{6}$ Atmosphäre Ueberdruck gepresst werden, indem man hierfür nur $H - \frac{h}{2}$ nach der obigen Tabelle $= 2^m$ zu machen hat. Dies wird erreicht, wenn man $h = 1^m$ nimmt.

Es handelt sich nun endlich noch darum, wie gross von Durchmesser oder Querschnitt man den Presscylinder zu machen haben werde. Da das Wasser nur während eines Theiles, man kann annehmen, während der einen Hälfte des Spieles aus dem Aufschlagrohr genommen wird, so muss der Querschnitt q des Cylinders so gross sein, dass der letztere bei der mittleren Wassergeschwindigkeit doppelt so viel Wasser pro Sekunde durchlässt, als verbraucht werden soll, so dass man, wenn diese mittlere Wassergeschwindigkeit $= v$ ist, hat:

$$qv = 2Q,$$

woraus sich als Bedingungs-gleichung für die Grösse von q ergibt:

$$q = \frac{2Q}{v} \quad \dots \quad (12)$$

Je kleiner die Geschwindigkeit v , um so grösser muss q gemacht werden, und allerdings war bei der Versuchsmaschine in San Pier d'Arena v sehr klein, nämlich $0^m,35$ bis $0^m,38$, was bei grossen Wassermengen einen grossen Cylinderdurchmesser erforderlich macht.

Ob man nicht bei neuen Ausführungen v grösser machen könne und dürfe, es z. B. aufs Doppelte oder wohl noch etwas höher steigern, muss dahin gestellt bleiben; ich halte dies für sehr wohl möglich und zulässig; einstweilen wird man sich aber an der genannten Zahl halten müssen. Der Pressraum wird wohl fast nie anders als cylindrisch genommen werden; setzen wir seinen Durchmesser $= d$, also $q = d^2 \frac{\pi}{4}$ und führen in (12) $v = 0,38$ ein, so erhalten wir

$$d^2 \frac{\pi}{4} = \frac{2Q}{0,38}$$

woraus

$$d = 2,59\sqrt{Q} \quad \dots \quad (13)$$

Der Cylinder muss hiernach immerhin eine ansehnliche Grösse erhalten, namentlich bei grosser Wassermenge Q .

So würde für obiges Beispiel, wo $Q = \frac{1}{2}$ war, sich ergeben:

$$d = 2,59\sqrt{0,5} = 1,8^m$$

Sehr genau braucht man es übrigens mit dieser Cylinderweite nicht zu nehmen; namentlich ist es unschädlich, sie etwas zu gross zu machen, indem man durch passende Einstellung des Auslassventiles immer den Abfluss des Wassers so reguliren kann, dass die einzelnen Spiele regelmässig erfolgen. Immerhin wäre es übrigens zu wünschen, dass man d nicht zu gross machen müsste, d. h. dass man v grösser als 0,38 nehmen dürfte, indem bei grossem d auch die Steuerungs-Ventile und der ganze Apparat grosse Abmessungen erhalten müssen.

Diese kurzen und einfachen Andeutungen über die Theorie der hydraulischen Luftpresse mögen hier genügen, da sie vor Allem einen Einblick in das Wesen der Maschine gewähren, keineswegs aber den Gegenstand erschöpfen wollen. Es bleiben immer noch viele genauere theoretische Untersuchungen zu machen übrig. Hierher ist namentlich ein sorgfältiges Aufsuchen aller Ursachen zu rechnen, welche den immer noch ansehnlichen Effektverlust von 40 bis 50 Procent herbeiführen, indem sich dabei auch die Mittel ergeben müssen, jenen Verlust zu vermindern. Ebenso wird über die zulässige Hubgeschwindigkeit auf mathematischem Wege am besten Aufschluss zu erhalten sein.

Konstruktion der hydraulischen Luftpresse.

Ueber die konstruktive Ausführung, welche die Erfinder der Luftpresse ihrer Maschine gegeben haben, fehlen mir alle Angaben. Dennoch will ich es nicht unterlassen, hier eine Konstruktion derselben zu geben, oder vielmehr eine Zeichnung, in welcher ich die Grundzüge der Konstruktion, wie ich sie für zweckmässig halte, anzudeuten versuche. Fig. 4 bis 6 stellen die Luftpresse in ihren Haupttheilen dar. *A* Aufschlag- oder Einfallrohr, *B* Ventilkasten, *C* Presscylinder, *D* Abflusskanal, den ich als ein aus Schmiedeisen konstruirtes Gefluthr an den Auslauf *E* anfüge. Das Ventilgehäuse enthält das Einlassventil *F*, welches als (Grosches) Glockenventil gebaut ist, und das Auslassventil *G*. Letzteres ist ein sogenanntes Rohrventil*), welches in gehobenem Zustand am untern und obern Rand vorbei das Wasser nach *E* treten lässt. Beide Ventile sind sog. Entlastungs- oder Doppelsitzventile. Sie werden vom Wasserdruck mit einer Kraft niedergehalten, die der Projektion ihrer Sitzflächen (welche sehr schmal sind) proportional ist, und leisten daher beim Aufheben keinen grossen Widerstand. Ihr Haupt-Durchmesser ist hier gleich dem des Presscylinders *C* genommen, so dass das Wasser in ihnen keine grössere Geschwindigkeit anzunehmen braucht, als in *C*. Das Einfallrohr ist hingegen etwas enger genommen, indem man hierin eine etwas grössere Geschwindigkeit sehr wohl zulassen darf. Die Kanäle *F*, *G* und *E* haben denselben Querschnitt wie *C*. Beide Ventile werden durch

*) Siehe meine Mittheilung hierüber in dieser Zeitschrift Bd. I, S. 133.

Wegnahme der Deckel F_2 und G_2 zugänglich, können also stets leicht nachgesehen werden.

Der Presscylinder wird einestheils durch einen cylindrischen Aufsatz auf den Ventilkasten, andernteils durch einen rohrförmigen Mittelraum des Gehäuses B gebildet. Diese Konstruktion macht es möglich, den Unterschied der beiden Wasserspiegel auf den kleinsten erforderlichen Werth zu beschränken.

Der etwas gewölbte Deckel H des Presscylinders enthält in seinem Scheitel den Sitz für das Abblaseventil J , durch welches die ausgetriebene Luft zum Leitungsrohr K und zum Windkessel gelangt. L ist das Luftventil, welches beim Sinken des Wasserspiegels der atmosphärischen Luft das Eindringen in C gestattet. Beide Ventile sind bei der vorliegenden Anbringungsweise leicht zugänglich.

Die Steuerung der Maschine geschieht durch zwei kleine Wassersäulenmaschinen. M und N sind die Cylinder derselben, M für das Einlassventil F , N für das Auslassventil G . Diese beiden Cylinderchen haben jedes eine gewöhnliche Schiebersteuerung, welche aber wegen der kleinen Abmessungen der Cylinder sehr klein ausfällt und zu ihrer Bewegung ganz geringe Kräfte erfordert. Mittelst Hebeln, von denen hier nur der eine OP in Fig. 6 angegeben ist, stehen die Kolbenstangen von M und N mit den zugehörigen Ventilstangen F_3G_3 in Verbindung. Das Aufschlagwasser erhalten beide Steuercylinder mittelst des Rohres QQ_1 aus dem Raum A_1 des Ventilkastens, in welchem stets der Druck der Treibwassersäule herrscht, da A_1 mit A fortwährend in Verbindung steht. Das abfließende Wasser entsenden beide Cylinder durch das Rohr R , welches in den Unterwasserkanal E_1E mündet. Ist nun der Kolbenquerschnitt in M und N von angemessener Grösse, so bewirkt das einfache Verstellen der kleinen Steuerschieber, dass die Ventile F und G entweder gehoben oder wieder niedergelassen werden. Zum Stellen der Steuerschieber aber dienen zwei Schwimmer S und T im Presscylinder, deren Bewegungen wie bei U angedeutet auf aussenliegende Hebel, und von da auf die Hebel der Steuerschieber übertragen werden. Diese Hebelverbindung ist so eingerichtet, dass das folgende Spiel entsteht.

Wenn die Wassersäule unten angekommen ist, wie es Fig. 4 zeigt, so ist der Schwimmer S gesunken und hat bewirkt, dass N das Ventil G schliesst, und dass sogleich darauf M das Einlassventil F öffnet. Es bedarf dazu bei jedem der beiden Cylinderchen nur eine Verschiebung des Steuerhebels. Die Wassersäule beginnt jetzt wieder aufzusteigen, wobei sie sogleich den Schwimmer S mit in die Höhe nimmt; der Hebel-Mechanismus des letzteren ist aber so eingerichtet (mit Schlitzstange z. B.), dass er die Steuerhebel nur nach einer Richtung, nicht aber auch rückgängig bewegen kann. Dieses letztere ist vielmehr dem oberen Schwimmer T übertragen, welcher, sobald die Wassersäule oben ankommt, zuerst F schliesst und dann G öffnet, seinerseits aber nun ebenfalls die Steuerhebel nicht rückgängig bewegen kann. Diese bleiben deshalb während des nun erfolgenden Niedergehens der Wassersäule in der Stellung, welche ihnen T gegeben, bis der Wasserspiegel wieder bei S ankommt und das frühere Spiel

Polyt. Zeitschrift. Bd. II.

wiederholt. Der Hebel-Mechanismus der kleinen Steuerungen ist leicht so einzurichten, dass sich alle Bewegungen in eine feste Abhängigkeit von einander bringen und genau einstellen lassen. Will man Pausen zwischen den einzelnen Hüben eintreten lassen (z. B. bei Mangel an Aufschlagwasser, wo man doch mit gutem Nutzeffekt arbeiten möchte) so lässt sich dies durch den sogenannten Catarakt bewirken, welchen man bei den Wasserhebungs-Dampfmaschinen anwendet. Bei den letzteren lässt sich, nebenbei bemerkt, umgekehrt auch Anwendung von den kleinern Steuercylinderchen zur Bewegung der Ventile machen.

Wenn mehrere Luftpressen zusammen von einem Wassergefälle getrieben werden, so lassen sich zweckmässige Verschmelzungen einzelner Theile der Maschinen machen. Stehen mehrere Luftpressen auf derselben Sohle, wie es z. B. beim Mont-Cenis-Tunnel der Fall sein wird, so lässt sich immer ein Aufschlagrohr für je zwei Pressen benutzen. Es kann dies von ganz bedeutendem Vortheil sein, indem die Röhrenleitungen doch oft sehr lang und deshalb kostspielig ausfallen. Man lege behufs dieser Ersparung zwei Maschinen so nebeneinander, dass sie das Einfallrohr gemeinschaftlich benutzen können, und verbinde nun die Steuerungsmechanismen so, dass die Wassersäule immer dann in dem einen Cylinder zu steigen anfängt, wenn sie in dem andern zu sinken beginnt. Alsdann wird das Wasser im Einfallrohr immer sogleich wieder in Bewegung kommen, sobald es durch das vollendete Aufsteigen der Wassersäule in einem der Presscylinder zum Stillstand gebracht worden ist, während es bei der einfachen Presse während des ganzen Niedersinkens des Wasserspiegels stille steht. Allenfalls lassen sich auch die zwei zusammenarbeitenden Pressen auf einen gemeinschaftlichen Ventilkasten stellen, der aber nichtsdestoweniger vier Ventile enthält.

Bei solchen Luftpressen, die stockwerkweise untereinander stehen, lässt sich eine andere bequeme Vereinfachung anbringen. Man kann nämlich bei solchen das Auslassventil jeder Presse als Einlassventil der nächstunteren wirken lassen. Jedoch entsteht dadurch auch eine Aenderung in der Wirkungsweise, die zwar nicht schädlich ist, aber doch eine andere Berechnungsmethode, als die oben gelehrt, verlangt. Es nimmt nämlich das Gefälle mit sinkendem Wasserspiegel ab, während es oben konstant angenommen ward.

Ohne Zweifel hat der praktische Maschinenbau in der hydraulischen Luftpresse eine ganz ausgezeichnete Erwerbung gemacht, und er darf sich glücklich schätzen, dass einmal die wirkliche Ausführung einer Luftpresse für so hohe Spannungen von so tüchtigen Konstrukteuren unternommen, und dass eine solche von vornherein einer so vortrefflichen Prüfung und Beurtheilung vorgelegt wurde, als es hier geschah. Die Maschine ist dadurch vor dem mühseligen Geschick bewahrt worden, sich Schritt für Schritt ihre Brauchbarkeit und ihre Anerkennung zu erwerben, was den gerade in dieser Beziehung herrschenden Vorurtheilen gegenüber vom grössten Gewicht ist. Man hatte den Ingenieuren die niederschlagendsten Prothezeiungen gemacht: die Einen sagten; Luftpresse und

Windkessel würden sich demassen erhitzen, dass an ein Arbeiten mit der Maschine nicht zu denken sein werde; andere wieder behaupteten, die Luft werde bei der plötzlichen Ausdehnung beim Ausfluss so viel Wärme binden, dass die Röhren sich mit Eis beschlagen würden; wieder andere behaupteten, die Reibung der Luft in den langen Röhrenleitungen würde ihre Spannung demassen vermindern, dass sie nur wie ein schwacher Hauch am Ende austreten werde, und deshalb kaum ventiliren, geschweige Kolbenmaschinen werde treiben können. Es ist sehr erfreulich, dass alle diese Einwürfe die Erfinder nicht abgehalten haben, ihre Idee auszuführen, denn Nichts von alledem hat sich erfüllt, oder vielmehr alle die vorhergesagten Uebel sind nur in einem ganz bescheidenen und wohl erträglichen Maasse aufgetreten. Die Erwärmung und Erkältung der Röhren waren gering; die Spannungsverluste in den 400^m langen und noch dazu recht engen Röhren liessen keineswegs den Luftstrom mit geringer Kraft austreten, im Gegentheil, derselbe war so mächtig, dass er Steine aus dem Wege schleuderte, und überhaupt Wirkungen hervorbrachte, welche alle Erwartungen übertrafen. Diese glücklichen Erfolge werden hoffentlich der jungen Erfindung bald Bahn brechen und ihr den gebührenden Rang in der Reihe unserer alt eingebürgerten Maschinen verschaffen.

Sie ist zu mancherlei Verwendungen in der Industrie fähig, wozu ausser den Besprochenen auch wohl die eine noch gehört, die gepresste Luft als Kraft-Uebertretungsmittel zu benutzen, eine wichtige Anwendung, von der auch das Gutachten (s. oben S. 161) spricht. Man wird nämlich die Maschine dazu verwenden können, Wasserkräfte, die sonst für Fabrikanlagen unzugänglich sind, in Benutzung zu ziehen, indem man an Ort und Stelle mittelst der Presse Luft zusammendrücken und diese durch Röhrenleitungen an solche Stellen treiben lassen kann, wo sie auf Kolbenmaschinen oder andere Vorrichtungen wirken soll.

Bei dieser Gelegenheit glaube ich, zweier neuen Vorrichtungen erwähnen zu müssen, welche ein Schweizer, Herr J. Lendemann aus Grub, Kt. Appenzell, auf die so eben geschlossene III. schweiz. Industrieausstellung gesandt, und vor den Experten behufs der Begutachtung in Thätigkeit gesetzt hat. Herr Lendemann, welcher schon länger an der Verwirklichung des Gedankens arbeitete, die gepresste Luft als Kraftträger zu benutzen, stellte zunächst eine eigenthümlich konstruirte Luftpresspumpe aus, welche die Luft auf hohen Druck zusammenzupressen vermochte, ohne dabei wegen ihrer zweckmässigen und neuen Liderungen erhebliche Luftverluste zu haben (die Luftpressung wurde, obgleich die Maschine sehr unvollkommen ausgeführt war, auf 4 Atmosphären gebracht) während unsere gebräuchlichen Liderungen bei hoher Spannung und geringer Kolbengeschwindigkeit leicht bedeutende Luftverluste entstehen lassen.

Die zweite und wichtigere Erfindung des Herrn Lendemann besteht in einem Apparat, vermittelt dessen die einmal vorhandene gepresste Luft ohne Vermittlung einer Pumpe Wasser zu heben im Stande ist; der Apparat schafft dieses Wasser auf eine der Luftpressung ent-

sprechende Höhe und giesst es dort in einem fortlaufenden Strahle aus. (Der ausgestellte Apparat trieb das Wasser bis auf die Höhe des Ausstellungsgebäudes.)

Diese Vorrichtung kann an manchen Orten von grossem Nutzen sein, z. B. zum Heben des Wassers aus tiefen Brunnen, wo bei der neuen Einrichtung das Pumpengestänge als unnöthig wegfällt; zum Auftreiben trinkbarer Quellen, die an schwer zugänglichen Stellen fliessen und zu deren Erhebung ebenfalls sonst schwer benutzbare Gefälle dienen können; zum Betreiben von Springbrunnen, wo der hochgelegene Wasserbehälter erspart wird; zum Betrieb grosser Wasserleitungen, bei denen die neue Einrichtung ebenfalls die Regulirungswassersäule (Wasserthurm) entbehrlich macht; auch zur Wasserhebung in Gruben, und zwar dürfte die Anwendung auf den letzteren Zweck um so eher ausführbar erscheinen, als in Schemnitz in Ungarn schon lange eine Wasserhebung mittelst gepresster Luft, die übrigens auf dem Prinzip des Heronsballes beruht, betrieben wird.

Als Anerkennung seiner Erfindungen wurde Herrn L. die silberne Medaille zuerkannt; hoffentlich wird ihm in der Schweiz, wo die Oertlichkeiten häufig die Anwendung seiner Vorrichtungen nützlich erscheinen lassen, recht häufig Gelegenheit werden, dieselben anzuwenden.

Konstruktion der Steinbohrmaschine, getrieben durch gepresste Luft.

Die Konstruktion der Steinbohrmaschinen, welche für den Mont-Cenis-Tunnel gebraucht werden, und welche für bergmännische Arbeiten überhaupt ganz tauglich sein sollen, ist meines Erachtens keine leichte Aufgabe. Ueber die derselben bisher gewordene Lösung liegt mir leider nichts weiter vor, als was ich in dem Obigen mitgetheilt; auch ist mir über die ursprüngliche Bartlett'sche Maschine in konstruktiver Hinsicht nichts bekannt geworden. Wenn ich es dennoch versuche, hier eine Konstruktion der Maschine in ihren Grundzügen zu geben, so geschieht dies, weil ich dadurch den Nutzen dieser Mittheilung in sofern zu erhöhen glaube, als ich damit wenigstens dem Konstruirenden bestimmte Anhaltspunkte gebe, indem es immerhin leichter ist, unter Zugrundelegung eines Vorbildes, als ganz frei eine durchaus neue Maschine zu entwerfen. Der allerschwierigste Punkt ist hier der, dass die Maschine auf einen möglichst schmalen und niedrigen Raum (die Cylinderachsen horizontal gedreht) zu bringen ist; ich habe versucht, innerhalb der Grenzen zu bleiben, welche oben, S. 156 als die der Konstruktion der piemontesischen Ingenieure angegeben wurden. Bei dieser Maschine noch mehr, als bei der vorigen, wird man es entschuldigen dürfen, wenn meine Lösung bei dem gänzlichen Mangel an Beobachtungen der arbeitenden Maschinen sowohl, als an Vorbildern, nicht diejenige erreicht, welche man dort, von längeren Studien und Erfahrungen geleitet, zur Ausführung brachte.

Fig. 7 bis 11 zeigen meinen Entwurf der Steinbohrmaschine, bei welcher als Motor Luft von starker Spannung angenommen ist. Die Cylinderweite nahm ich auf 10^{cm}, den

Bohrerhub auf 30^{cm} an, indem ich vermüthe, dass man bei den Maschinen für den Mont-Cénis-Tunnel auch etwa diese Abmessungen, welche die Raumeinnahme der Maschine bestimmen, angewandt habe. *A* Treibcylinder, *B* Kolben, *C* Kolbenstange desselben, welche zugleich Bohrstange ist; *D* Steuerungsschieber des Treibcylinders. Derselbe ist mit Ueberdeckungen und Voreilen so konstruirt, dass er dem Kolben, wenn er sich dem Schub-Ende nähert, gespannte Luft entgegenführt, und ihn dadurch sowohl verhindert, gegen den Cylinderboden zu stossen, als ihn auch nöthigt, umzukehren. Die Deckungen des Schiebers sind aber unsymmetrisch angenommen, so dass der Kolben an der Seite von *C* von der entgegentretenen Luft nur wenig verhindert, also mit beinahe ganz ungeschwächter Wucht an diesem Cylinderende ankommt, wobei aber seine Kraft an das zu bearbeitende Gestein abgegeben wird.

Wie man sieht, ist die Kolbenstange nur an der Bohrseite aus dem Cylinder geführt und zugleich so dick, dass sie Masse genug bekommt, um beim Bohren wirksam sein zu können. Zugleich ist dadurch die beim Rückgang zur Wirkung kommende Kolbenseite so weit verkleinert, als es etwa der Unterschied der zu überwindenden Kräfte erfordert. Die Stopfbüchse von *A* ist sehr lang genommen, damit sie leicht könne luftdicht gemacht werden. Dem Mittelring derselben wird durch eine hier weggelassene Schmierbüchse Oel zugeführt. Die Stopfbüchse ist als Mutter aufgeschraubt, um sie recht klein halten zu können.

Den zweiten Haupttheil der Maschine bildet ihre Steuerungsvorrichtung. Sie wird hier durch eine besondere kleine Kolbenmaschine gebildet, deren Cylinder *E* mit *A* eine und dieselbe geometrische Achse hat, und mit ihm fest verschraubt ist. Mittelst Schubstange und Kurbel treibt der Steuerkolben die Welle *F* um, welche ein kleines Schwungrad hat, und durch ein Excentrik auf den Hebel *G* wirkt, durch dessen Hin- und Herbewegungen der Hauptschieber *D* passend verstellt wird. Denkt man sich nun die Steuermaschine in richtigem Gange, d. h. gerade so schnell gehend, als die zutretende Luft den Kolben *A* hin- und herzutreiben vermag, so wird die Maschine in regelmässige Thätigkeit gerathen. Die Bedingung aber, dass die Steuermaschine hiebei eine gewisse Geschwindigkeit haben müsse, ist dafür unerlässlich. Denn nimmt man an, dass sie ihren Schub schneller zurücklegte, als der Kolben *A* zu folgen vermag, so würde sie demselben die Luft in verkehrter Weise zuführen, ihn z. B. auf halbem Wege schon zurückschnellen, oder ihm gar vor vollendetem Schub noch aufs neue Luft nachschicken, welche ihn gegen den Cylinderboden schleudern müsste. Aehnliche Uebelstände würden auftreten, wenn die Steuermaschine zu langsam ginge.

Sagt also oben der Berichterstatter, dass bei der umgeänderten Bohrmaschine die Schwungradwelle sich unabhängig von dem Triebkolben bewege, so darf dies wohl nur so verstanden werden, dass keine festen Glieder zwischen diesen beiden Theilen angebracht sind. Ohne eine gewisse Abhängigkeit der Bewegungen ist, wie mir wenigstens scheint, die richtige Thätigkeit der Maschine nicht möglich. Dieselbe ist hier dadurch erreicht, dass der

Triebkolben den Schieber des Steuerkolbens bewegt. Es wird dies vermittelt durch die Stange *JK*, welche durch den Hebel *H* auf den Steuerschieber wirkt. Bei *K* wird die genannte Stange von einem auf der Kolbenstange *C* drehbar sitzenden Zaum gefasst, welcher auf der Schraubenspindel *N* eine Führung findet, so dass er sich nicht mit der Kolbenstange *C* drehen kann. Der kleine Schieber des Steuerkolbens ist ganz ohne Deckungen, so dass er, sobald der Kolben *B* nicht genau in der Mitte seines Laufes steht, dem Steuerkolben stets Luft zukommen lässt, welche ihn fort- und die Welle *F* umtreibt. Sogleich aber steuert nun diese den Schieber *D* in angemessener Weise, um entweder den Kolben *B* in der Bohrrichtung oder rückwärts nach *E* hin zu treiben, wodurch dann wiederum dem Steuerschieber eine solche Lage gegeben wird, dass die Welle *F* ihre Drehung fortsetzen kann. Um den Gang des Steuerkolbens noch genauer reguliren zu können, ist der Auslasskanal des Cylinders *E* noch mit einem verstellbaren Hahn versehen; dieser wird beim Einstellen der Maschine so lange verstellt, bis die beiden Kolbenbewegungen genau harmoniren. Es ist somit eine ganz sichere Abhängigkeit zwischen den beiden Maschinen hergestellt, welche aber dennoch nicht durch die angewandten festen Theile Stösse oder andere Störungen veranlassen kann. — Der in dem Gutachten ausgesprochene Gedanke, dass man wohl mit einem Steuerzylinder werde ausreichen können, ist hier zu verwirklichen gesucht; um die Einstellung und das Nachsehen der Schieber zu erleichtern, sind die Hohlräume der Schieberkasten hier zu einem einzigen vereinigt und durch einen gemeinschaftlichen Deckel verschlossen.

Es bleiben nun noch diejenigen konstruktiven Glieder zu besprechen, welche das Fortschieben der ganzen Bohrmaschine auf ihrem Untergestell, und das Drehen der Kolbenstange *C* zu vollführen haben, welche Bewegungen ja nach jedem Schlag des Bohrers geschehen müssen. Diese Bewegungen werden hier von der Steuerwelle *F* wie folgt entnommen. Zunächst ist zu bemerken, dass alle Theile der Bohrmaschine auf dem festen Maschinengestell *L* angebracht sind, welches sämtliche Lagerpunkte mit einander verbindet, und dessen Bewegungen mithin von der ganzen Maschine mitgemacht werden. Dieses Gestell *L* kann sich auf dem Untergestell *M* in der Längenrichtung verschieben, und zwar tritt dies ein, wenn die Schraube *N* gedreht wird, indem diese, ebenfalls auf *L* gelagert, sich alsdann gegen ihre auf *M* befestigte Mutter verschiebt. Nun trägt die Schraube auf ihrem Ende das Stirnrädchen *P*, welches in ein ebenso grosses Stirnrad *Q* eingreift. Letzteres ist fest mit einer Büchse *R* verbunden, welche bei *S* drehbar gelagert ist, bei seiner Verdrehung aber die Kolbenstange *C* vermöge der angedeuteten Nuth und Feder mit herumnimmt, ohne die Längenbewegung der Kolbenstange zu hindern. S gibt so zugleich die nothwendige zweite Führung für die Stange *C* ab. Dreht man nun also die Schraube *N* um einen gewissen Winkel, so wird der ganze Bohrapparat um ein gewisses Stück auf *M* vorwärts oder rückwärts geschoben, zugleich aber auch die Kolbenstange und damit der Steinbohrer um den Drehwinkel der

Schraube gedreht. Die Drehung der Schraube *N* geschieht durch eine Schraube ohne Ende *T* und das Schaltrad *U*, welches von der Welle *F* aus bei jeder Umdrehung vorgeschaltet wird. Das Vorschreiten des Schaltrades, dessen Mechanismus in Fig. 11 besonders dargestellt ist, kann durch Verstellung des Hubes der Schaltklinke nach Bedarf gross oder klein gemacht werden. Eine abnehmbare Handkurbel *V* gestattet, den Apparat nach vollendeter Bohrung von Hand wieder zurückzubringen.

Der kleine Maasstab der Zeichnung gestattete nicht, mehr Einzelheiten anzugeben, als geschehen ist. Die Anbringung des Untergestells *M* auf dem Wagen, welcher die gleichzeitig arbeitenden Bohrmaschinen tragen soll, und welche so eingerichtet werden muss, dass man *M* ein wenig schief stellen kann, ist weggelassen, da eine solche Vollständigkeit in Anbetracht des Zweckes dieser Mittheilungen nicht einmal am Platze wäre. Bei der wirklichen Ausführung der Maschinen wird man alle zu öhlenden Theile noch ganz besonders vor Staub und Schmutz schützen, überhaupt die Konstruktion in allen Theilen so ausführen müssen, dass einigermassen rauh damit umgegangen werden darf.

Auch der hier besprochenen Maschine stehen wohl noch mancherlei andere Anwendungen bevor. So wird man sie z. B. in den Münzwerkstätten statt der bisher dort angewandten atmosphärischen Kolbenmaschinen anwenden, bei denen die eine Cylinderseite abwechselnd in und ausser Verbindung mit einem Kessel gebracht wird, den eine Luftpumpe fortwährend wieder luftleer macht. Hier wird die hohe Luftspannung eine bedeutende Verkleinerung der Abmessungen jener Maschinen gestatten. Dann wäre es auch z. B. in Ueberlegung zu ziehen, ob nicht in Pochwerken die obigen Maschinen sehr geeignet sein würden, die Pochstempel zu ersetzen, von denen vielleicht 10 bis 12 durch eine solche Maschine vertreten werden könnten. Auch lässt sich die Maschine nicht übel als Hammermaschine benutzen, wobei man sie auch mit Dampf betreiben könnte und selbstredend die ganze Schaltvorrichtung nicht gebrauchen würde. Sie würde sich dabei zwar vom gewöhnlichen Dampfhammer nur durch die Steuerung unterscheiden und dadurch noch, dass man bei Aenderungen der Schmiedstückhöhe die ganze Hammermaschine verschöbe, während diese bisher immer feststeht. Aber diese beiden Unterschiede würden für kleinere Apparate vielleicht gerade sehr werthvoll sein, namentlich da die neue Maschine so schnell wie ein Schwanzhammer zu arbeiten vermag.

Schlussbemerkungen.

Werfen wir nun, wenn ich die Geduld des Lesers nicht schon zu lange in Anspruch genommen habe, zum Schluss einen Blick über die Gesamtheit der besprochenen Gegenstände, so müssen wir dem grossartigen Unter-

nehmen der Durchbohrung des Mont-Cénis, und der Art und Weise, wie dieselbe vorbereitet und angegriffen worden ist, unsere volle Anerkennung zollen. Es liegt in dem Ganzen etwas sehr Erfreuliches, wenn nicht sogar etwas Bewunderungswürdiges. Ist dies darin zu finden, dass man hier eine Arbeit unternimmt, welche so viel Zeit und so grosse Kosten in Anspruch nimmt? Wohl nicht; denn es werden nicht selten öffentliche Bauten unternommen, welche 10 bis 12 Jahre dauern und 40 Millionen kosten sollen. Auch nicht in dem grossen Maasstabe des Bauwerkes, der Riesenhaftigkeit desselben. Ein riesenhaftes Werk darf man es vielleicht nicht einmal nennen. Denn wenn auch der Tunnel auf dem einen Gebirgshang in die Felswand eindringt, um den Bauch des Berges erst wieder zu verlassen, nachdem er darin eine Strecke von nahe zwei Meilen zurückgelegt hat, so macht das nicht den Eindruck des Riesenhaften; der Tunnelquerschnitt ist der gewöhnliche, die Eingänge bieten nichts Auffallendes dar, und für die Länge fehlt uns der Ueberblick. Was aber das vorliegende Bauunternehmen erstaunlich macht, sind die übergrossen Schwierigkeiten, welche sich seiner Durchführung entgegensetzen, Schwierigkeiten, zu deren Besiegung es des grössten Scharfsinnes, der Zusammenwirkung einer ganzen Reihe meist neuer Hilfsmittel bedurfte, deren Tragweite vorher auf das Genaueste zu erwägen war. Und dass man die Arbeit vor ihrem Beginn so sorgfältig Punkt für Punkt untersuchte, sich keines ihrer Hindernisse verhehlte, und dann nach ruhigem sorgsamem Abwägen aller Kräfte muthig Hand an ein Werk legte, welches die Thatkraft einer ganzen Nation erfordert, das ist die erfreuliche und in dieser Vollkommenheit auch neue Seite des Unternehmens. Hier haben sich, bevor der erste Schlag auf die sich dem Verkehr entgegenthürmende Gebirgswand geführt wurde, die ersten wissenschaftlichen und technischen Kräfte des Landes die Hand gereicht zu einer umsichtigen, nichts beschönigenden Prüfung aller Theile der vorgelegten Frage, dann aber, nachdem die Möglichkeit ihrer Lösung erkannt war, sind ebenso Hand in Hand Technik und Wissenschaft zum wirklichen Beginn des grossen Werkes geschritten, und wir dürfen voll Vertrauen auf den Erfolg nach deutschem Brauch Glück auf! dazu rufen. Ob der Bau gelingen werde, steht wohl etwas, aber nicht sehr in Frage. Was menschliche Berechnung voraussehen konnte, hat man in Erwägung gezogen. Ehe die Ingenieur-Wissenschaft ihren Plan feststellte, befragte sie die Mechanik, die Physik, die Chemie, die Physiologie und vor Allem, was bekanntlich nicht immer zu geschehen pflegt, die Geologie. Trotz alledem wird es wohl schwerlich ausbleiben, dass sich der vorschreitenden Arbeit noch neue unvorhergesehene Hindernisse in den Weg werfen werden. Aber auch wegen dieser braucht man wohl nicht besorgt zu sein, indem es dem Genie und der Ausdauer der Leiter des Baues zuzutrauen ist, dass sie sich dadurch nicht dauernd werden aufhalten lassen.